

5G VÄYLÄVIRASTON TOIMINNASSA

Väylävirasto nopeiden tietoliikenne-
yhteyksien hyödyntäjänä ja
mahdollistajana

Olli Jokinen, Juha-Pekka Piuva,
Mikko Mäkipää, Laura Riihentupa

5 G Väylävirasto toiminnassa

Väylävirasto nopeiden tietoliikenneyhteyksien
hyödyntäjänä ja mahdollistajana

Väyläviraston julkaisuja 52/2019

Verkkajulkaisu pdf (www.vayla.fi)

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-317-741-3

Väylävirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puh. 0295 34 3000

Olli Jokinen, Juha-Pekka Piuva, Mikko Mäkipää ja Laura Riihentupa: 5G Väyläviraston toiminnassa – Väylävirasto nopeiden tietoliikenneyhteyksien hyödyntäjänä ja mahdollistajana. Väylävirasto. Helsinki 2019. Väyläviraston julkaisuja 52/2019. 64 sivua. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-741-3.

Avainsanat: tietoliikennetekniikka, 5G-tekniikka, tietoliikenneverkot, kommunikaatio

Tiivistelmä

Työn tarkoituksena oli tunnistaa digitaalisen infran tuomat hyödyt, tarpeet ja haasteet väyläviranomaisen toiminnassa, sekä tunnistaa miten Väylä voi roolissaan mahdollistaa ja edistää tietoliikenneverkkojen kehittymistä. Työn tavoitteena oli antaa syötteitä Väyläviraston toiminnan suunnittelulle ja kehittämiselle, lisätä väylänpidon eri osapuolten tietoisuutta tietoliikennekysymysten vaikutuksesta toimintatapoihin sekä tunnistaa julkisten ja yksityisten toimijoiden tehtävien jakautuminen.

Tulevaisuuden tarpeet tietoliikenneyhteyksien kehittymiseksi maantieliikenteessä liittyvät pääosin ajoneuvojen kommunikaation lisääntymiseen sekä autonomisen liikenteen kehittymiseen. Tulevaisuuden ajoneuvojen välinen viestintä ei nykyisen ymmärryksen mukaan tapahdu yksinomaan mobiiliverkkojen kautta, vaan osa viivekriittistä tai suurta tiedonsiirtoa edellyttävistä sovelluksista nojautuvat suoraan ajoneuvojen väliseen kommunikaatioon. Monet liikenteen uusista palveluista ja kehitysaskelista eivät kuitenkaan lähtökohtaisesti edellytä 5G-verkkoa, vaan suurin osa lähitulevaisuuden kehityksestä on mahdollista toteuttaa jo nykyisin verkoin. Maantieliikenteen kannalta tärkeämpänä voidaan pitää verkon peiton kattavuutta, kuin merkittävästi nykyistä nopeampia yhteyksiä. Yhtenä tieliikenteen tietoliikenneyhteyksien kehittymistä jarruttavana tekijänä on selkeiden maantieliikenteen ansaintalogiikoiden puuttuminen, joilla operaattorit pystyisivät kattamaan tietoliikenneyhteyksien kehittämisen kustannukset.

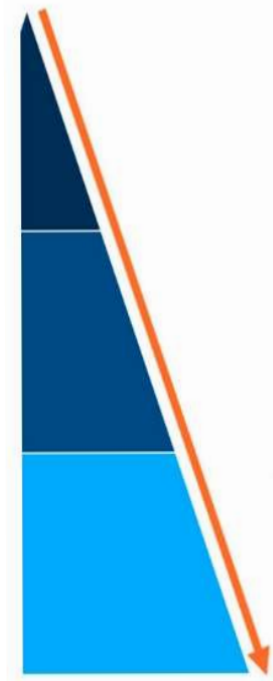
Rautatieliikenteen keskeiset tulevaisuuden kehittämistarpeet liittyvät suomalaisen junien kulunvalvonnan (JKV) korvaamiseen eurooppalaisella ERTMS-järjestelmällä. ERTMS-käyttöönottoon liittyy useita ratkaistavia kysymyksiä ennen kuin 5G-verkon hyödyntämismahdollisuuksiin rautatieliikenteessä on mahdollista ottaa kantaa. Nykyisellään rautatieliikenteen käyttötapaukset hyötyvät eniten mobiiliverkon kuuluvuuspeiton kasvattamisesta ja yhteyksien parantamisesta. Uudet IoT-verkot voivat tarjota jo nykyisellään kustannustehokkaita ratkaisuja esimerkiksi etäsensoroinnin hyödyntämiseen etenkin ei-turvallisuuskriittisissä toiminnoissa.

5G-mobiiliteknologia on seuraava mobiiliteknologioiden sukupolvi, joka tullaan ottamaan laajemmin käyttöön 2020-luvun aikana. 5G-verkko ei poista tarvetta vanhemmille verkkosukupolville, vaan 3G- ja 4G-yhteydet tulevat jatkossakin olemaan riittävät moniin käyttötarkoituksiin. Perinteisten mobiiliverkkojen ohella operaattorit ovat tuoneet markkinoille NB-IOT ja LTE-M-verkkoja, jotka mahdollistavat IoT-sensoreiden hyödyntämisen. Näiden verkkojen pitäisi olla käytössä maanlaajuisesti 2020-luvun alussa. Nykyisen ymmärryksen mukaan 5G-verkko tulee todennäköisesti rakentumaan kolmelle eri taajuusalueelle, jotka täydentävät toisiaan ominaisuuksiltaan. Matalat taajuudet mahdollistavat kustannustehokkaan tavan toteuttaa kattavaa 5G-peittoa ja korkeat taajuudet mahdollistavat suuren tiedonsiirtokapasiteetin yksittäisiin kohtiin. Käyttäjien

tarpeet ja verkon toteuttamisen kustannukset ovat 5G-verkon muodostumisen kannalta tärkeimmät tekijät.

Nykyisen ymmärryksen mukaan 5G-verkko rakentuu alkuvaiheessa olemassa oleville 4G- ja 3G-tukiasemapaikoille. Olemassa olevien tukiasemapaikkojen hyödyntäminen ei edellytä merkittävää kuituverkon tai mastojen rakentamista yksittäistapauksia lukuun ottamatta. 5G-verkon peitto toteutetaan pääosin matala- ja keskitaajuuksia hyödyntämällä. Laajamittainen ja kattava korkeataajuuksisen 5G-verkon toteutus pääväylien varteen lähitulevaisuudessa näyttää eri toimijoiden nykyisten näkemysten mukaan hyvin epätodennäköiseltä. Korkeiden taajuuksien 5G-tukiasemat toteutuvat korkeintaan yksittäisiin pistemäisiin kohtiin tarjoamaan entistä suurempaa tiedonsiirtokapasiteettia.

Työn aikana Väyläviraston toiminnasta tunnistettiin keinoja, joilla se pystyy roolissaan edistämään 5G-verkon sekä muiden tietoliikenneyhteyksien toteuttamista maanteiden ja rautateiden pääväylien varrella. Oikean suuruisten toimenpiteiden hahmottamiseksi väylänpitäjän rooli tietoliikenneyhteyksien edistäjänä olisi kuitenkin tarpeellista ensin selkeyttää. Työn aikana tunnistettiin seuraavat toimenpiteet tietoliikenneasioiden edistämiseksi.



Strateginen ohjaus

1. Väyläviranomaisten rooli tietoliikenneasioiden edistämiseksi kaipaa selkeyttämistä
2. Tietoliikenneyhteydet tulisi kytkeä tiiviimmin osaksi väylien kehittämistä ja palvelutasotavoitteita

Toimintamallien ja prosessien kehitys

3. Digitaalisen infran yhteiskäyttöisyyttä tulisi edistää väyläalueilla
4. Viranomaisten ja operaattoreiden yhteistyötä on tarpeen syventää ja systematisoida
5. Tietoliikenneyhteydet tulisi huomioida nykyistä aikaisemmin väyläviranomaisten hankemenettelyissä
6. Johtosiirtoja koskeva koordinaatio tulisi käynnistää jo suunnitteluvaiheessa
7. Sijoituslupamenettelyiden kehittämisellä voidaan sujuvoittaa toteuttamisprosessia

Tekniset edistämistoimenpiteet

8. Kustannustehokas ennakkorakentaminen edellyttää yhteistyötä operaattoreiden kanssa
9. Passiivisen infran ennakkorakentamisen tulee kohdentua oikeisiin kohteisiin
10. Mahdollistamistoimenpiteet korkeataajuuksisen 5G-verkon rakentumiseksi selkeytyvät vasta tulevaisuudessa

Olli Jokinen, Juha-Pekka Piuva, Mikko Mäkipää och Laura Riihentupa: 5G i Trafikledsverkets verksamhet - Trafikledsverket som brukare och möjliggörare av snabba dataförbindelser. Trafikledsverket. Helsingfors 2019. Trafikledsverkets publikationer 52/2019. 64 sidor. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-741-3.

Sammanfattning

Avsikten med arbetet var att i trafikledsmyndigheternas verksamhet identifiera nyttor, behov och utmaningar som den digitala infrastrukturen för med sig samt identifiera hur Trafikledsverket Väylä i sin roll kan möjliggöra och främja utvecklingen av dataförbindelserna. Syftet med arbetet var att ge input till planering och utveckling av Trafikledsverkets verksamhet, öka medvetenheten hos olika parter inom trafikledshållningen om hur dataförbindelsefrågorna inverkar på strategierna samt identifiera uppgiftsfördelningen mellan offentliga och privata aktörer.

Framtidens behov när det gäller utveckling av dataförbindelserna i landsvägs- trafik anknäver främst till den ökade kommunikationen mellan fordon samt utvecklingen av autonom trafik. Kommunikationen mellan framtidens fordon kommer enligt dagens vetenskap inte enbart att ske via mobilnäten, utan en del fördröjningskritisk information eller tillämpningsprogram som kräver stor dataöverföring kommer att bygga på direkt kommunikation mellan fordon. Många av de nya tjänsterna och utvecklingsstegen i trafiken förutsätter dock inte ett 5G-nät, utan merparten av utvecklingen inom den närmaste framtiden kan genomföras redan med dagens nät. När det gäller landsvägstrafiken kan nätets täckning anses viktigare än märkbart snabbare förbindelser än vad vi redan har. En faktor som bromsar utvecklingen av dataförbindelser i landsvägstrafiken är bristen på en tydlig affärslogik som skulle täcka operatörernas kostnader för utveckling av dataförbindelser.

De centrala kommande utvecklingsbehoven inom järnvägstrafiken ansluter till projektet för att ersätta JKV (det inhemska tågövervakningssystemet) med det europeiska ERTMS-systemet. I anslutning till införandet av ERTMS finns det flera frågor som ska lösas innan det är möjligt att ta ställning till möjligheterna att utnyttja 5G-nätet i järnvägstrafiken. I dagens läge skulle järnvägstrafiken gynnas mest av ett utökat täckningsområde i mobilnätet och förbättrade förbindelser. De nya IoT-näten kan redan i dag erbjuda kostnadseffektiva lösningar till exempel för utnyttjande av fjärrsensorering i synnerhet vid icke-säkerhetskritiska verksamheter.

5G-mobiltekniken är nästa generation av mobilteknik, som kommer att införas mer allmänt under 2020-talet. 5G-nätet gör inte de äldre nätgenerationerna överflödiga, utan 3G- och 4G-näten kommer även i fortsättningen att vara tillräckliga för många ändamål. Utöver de traditionella mobilnäten har operatörerna introducerat på marknaden NB-IOT- och LTE-M-nät, som möjliggör användning av IoT-sensorer. Dessa nät borde vara i bruk över hela landet i början av 2020-talet. Enligt vad man vet i dag kommer 5G-nätet sannolikt att bygga på tre olika frekvensområden som till sina egenskaper kompletterar varandra. De låga frekvenserna möjliggör heltäckande 5G-täckning på ett kostnadseffektivt sätt och de höga frekvenserna möjliggör en stor dataöverföringskapacitet till enskilda objekt. Användarnas behov och kostnaderna för att bygga nätet är de viktigaste faktorerna för tillkomsten av 5G-nätet.

Enligt vad man nu vet kommer 5G-nätet i början att byggas på befintliga 4G- och 3G-basstationsplatser. Genom att utnyttja de befintliga basstationsplatserna behöver fibernät eller master byggas endast i enstaka fall. 5G-nätets täckning åstadkoms främst genom att utnyttja låg- och mellanfrekvenserna. En omfattande och heltäckande utbyggnad av ett högfrekvens-5G-nät längs huvudlederna i en nära framtid anser olika aktörer nu som mycket osannolikt. 5G-basstationer med höga frekvenser byggs på sin höjd på enskilda punktvisa platser för att ytterligare förbättra dataöverföringskapaciteten.

Under arbetet identifierade man i Trafikledsverkets verksamhet metoder med vilka verket i sin roll kan främja uppbyggnaden av 5G-nätet och andra dataförbindelser längs landsvägarnas och järnvägarnas huvudleder. För att planera åtgärder av rätt storlek borde ändå trafikledshållarens roll i att främja dataförbindelser först klargöras. Under arbetet identifierades följande åtgärder för främjande av frågorna i anslutning till dataförbindelser.



Strategisk styrning

1. Trafikledsmyndigheternas roll i främjande av frågor i anslutning till dataförbindelser bör klargöras
2. Dataförbindelser borde vara närmare kopplade till utvecklingen av trafiklederna och servicenivåmålen

Tekniska stimulansåtgärder

3. Samanvändning av digital infrastruktur borde främjas på trafikledsområdena
4. Samarbetet mellan myndigheterna och operatörerna bör fördjupas och systematiseras
5. Dataförbindelserna borde beaktas i ett tidigare skede än i dag i trafikledsmyndigheternas projektprocedurer
6. Samordning i anslutning till ledningsöverföringar borde startas redan i planeringsskedet
7. Genomförandeprocessen kan göras smidigare genom att utveckla proceduren för förläggningstillstånd

Utveckling av koncept och processer

8. Kostnadseffektivt förhandsbyggande förutsätter samarbete med operatörerna
9. Förhandsbyggande av passiv infrastruktur ska inriktas på rätt objekt
10. Vilka åtgärder som krävs för att bygga ett högfrekvens-5G-nät kommer att klarna först i framtiden

Olli Jokinen, Juha-Pekka Piuva, Mikko Mäkipää and Laura Riihentupa: **5G in the operation of the Finnish Transport Infrastructure Agency – The Finnish Transport Infrastructure Agency as a user and enabler of fast data connections**. Finnish Transport Infrastructure Agency. Helsinki 2019. Publications the FTIA 52/2019. 64 pages. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-741-3.

Abstract

The purpose of the study was to identify the benefits, needs and challenges of digital infrastructure in the activities of the transport infrastructure authorities, and to find out how the Finnish Transport Infrastructure Agency (FTIA) can enable and promote the development of telecommunications networks. The objective of the study was to provide input for the planning and development of FTIA's activities, increase the awareness of various parties with regard to infrastructure management connected with the impact of telecommunications issues on operating methods, and identify the division of duties between public and private actors.

The future development needs of data connections in road traffic are mainly related to the increased communication by vehicles and the development of autonomous traffic. The current understanding is that the communication between future vehicles will not occur via mobile networks alone; rather, some of the applications that require delay-critical or large-scale data transfer rely on direct communication between vehicles. In principle, however, many of the new services and development steps in traffic do not require a 5G network; instead, a large portion of the development in the near future can already be implemented using the current networks. For road traffic, network coverage can be considered a more important factor than significantly faster connections. One of the factors slowing down the development of data connections in road traffic is the lack of clear road traffic revenue models that would allow the operators to cover the costs of developing data connections.

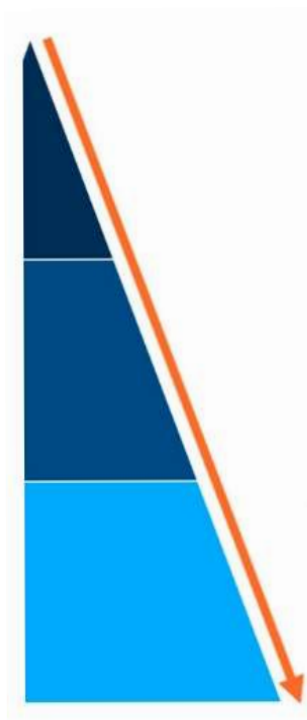
The key future development needs of railway traffic are linked to the replacement of the Finnish train control system (JKV) with the European ERTMS system. There are several issues connected to the deployment of ERTMS that must be resolved before taking a position on the possibilities of using a 5G network in railway traffic. Currently, the most benefit in the cases of use in railway traffic is being gained by increasing the mobile network coverage and improving the connections in general. In their current state, the new IoT networks can already offer cost-effective solutions for using remote sensors, for instance – especially for functions that are not safety critical.

5G is the next generation of mobile technology, and it will be implemented more extensively during the 2020s. The 5G network does not eliminate the need for older network generations; instead, 3G and 4G connections will also be sufficient for many purposes in the future. In addition to the traditional mobile networks, operators have launched NB-IOT and LTE-M networks on the market; they enable the use of IoT sensors. These networks should be operational throughout Finland in the early 2020s. According to the current understanding, the 5G network will most likely be built in three individual frequency ranges, the characteristics of which complement each other. The low frequencies enable a cost-effective way of implementing comprehensive 5G coverage, while the high frequencies enable a high data transfer capacity at specific sites. Users' needs and the costs of

network implementation are the most important factors for the establishment of a 5G network.

In the current understanding, the 5G network will initially be built on the existing 4G and 3G base station sites. Using the existing base station sites does not require significant construction of masts or a fibre network, with some individual exceptions. The 5G network coverage will mainly be implemented by using low and medium frequencies. According to the current views of various actors, implementing an extensive and comprehensive high-frequency 5G network next to the main routes seems very unlikely in the near future. At most, high-frequency 5G base stations will be implemented at specific sites in order to offer a higher data transfer capacity than before.

During the study, methods that the Finnish Transport Infrastructure Agency can use to promote the realisation of the 5G network and other data connections along the main roads and railways were identified. In order to determine measures having the right scope, the role of the infrastructure manager as a promoter of data connections should be clarified first, however. During the study, the following measures for promoting telecommunications issues were identified:



Strategic management

1. The role of the infrastructure authorities in promoting telecommunications issues needs to be clarified
2. Data connections should be more closely linked to infrastructure development and service level goals

Development of operating models and processes

3. The joint use of digital infrastructure in traffic areas
4. The cooperation between the authorities and the operators should be made deeper and more systematic
5. Data connections should be taken into account better in the project-related procedures of the infrastructure authorities
6. The co-ordination of cable relocation should already start during the planning stage
7. The implementation process can be made smoother by developing the siting permit procedures

Technical incentive measures

8. Cost-effective construction in advance requires co-operation with the operators
9. The construction of passive infrastructure in advance must focus on the right targets
10. The measures required for the construction of a high-frequency 5G network will only become clear in the future

Esipuhe

Liikenneala on voimakkaassa muutoksessa ja sen kehitykseen vaikuttavat samanaikaisesti useat muutosajurit. Yhtenä tulevaisuuden kehityspolkuna on liikenteen automatisaation lisääntyminen, mikä saattaa tarkoittaa uudenlaisia vaatimuksia myös pääväylien tietoliikenneyhteyksille. Useissa kansallisissa strategioissa ja ohjelmissa 5G-verkkojen toteuttamisen edistäminen on nostettu etualalle. 5G:n odotetaan tuovan uusia palveluita ja liiketoimintamahdollisuuksia esimerkiksi liikenteeseen ja teollisuuteen.

Esiselvityksen tarkoituksena on tunnistaa digitaalisen infran tuomat hyödyt, tarpeet ja haasteet väyläviranomaisen toiminnassa, sekä tunnistaa miten Väylä voi roolissaan mahdollistaa ja edistää tietoliikenneverkkojen kehittymistä. Työn keskeisenä tavoitteena on tarkastella toimintaa erityisesti tie- ja rautatieliikenteen näkökulmasta.

Työ toteutettiin vuoden 2019 touko-lokakuun välisenä aikana. Työskentely perustui yhteensä 25 henkilöhaastatteluun, joihin osallistuivat Väyläviraston, te-leoperaattoreiden, ELY-keskusten, kaupunkien, tutkimuslaitosten sekä liikenteen ohjausyhtiöiden edustajia. Haastateltavien kanssa käytiin läpi 5G-verkon tietoliikenneyhteyksien kehittymistä erityisesti pääväylien varressa sekä tietoliikenneyhteyksien kehittymiseen liittyviä mahdollisuuksia ja haasteita.

Henkilöhaastatteluista saatuja johtopäätöksiä tarkennettiin ja täydennettiin erillisellä työpajalla syyskuussa 2019. Työpajassa käytiin läpi eri osapuolten näkemykset tietoliikenneyhteyksien kehittymisestä, keskeiset väyläviranomaisten mahdollistamistoimenpiteet sekä eri osapuolten kehittämistarpeet yhteistyön sujuvoittamiseksi.

Esiselvityksen tilaajana toimi Väylävirasto, jossa työn ohjauksesta ja raporttiluonnoksen kommentoinnista ovat vastanneet Jari Myllärinen ja Jan Juslén. Selvityksen laatijana toimi Sitowise Oy, jossa projektiryhmään kuuluivat Olli Jokinen (projektipäällikkö), Juha-Pekka Piuva, Laura Riihentupa sekä Mikko Mäkipää.

Helsingissä joulukuussa 2019

Väylävirasto
Väylien tietopalvelut -osasto

Sisältö

1	TYÖN TAUSTA JA TAVOITTEET	11
1.1	Työn tausta.....	11
1.2	Työn tavoitteet.....	12
2	TIETOLIIKENNEYHTEYDET	13
2.1	Langattomat tietoliikenneyhteydet	13
2.1.1	5G-verkko	13
2.1.2	Vanhemmat mobiiliverkkoteknologiat ja muut radioverkot	16
2.2	Verkkoarkkitehtuuri ja topologia.....	17
2.2.1	Core-verkko	18
2.2.2	Transport ja Metro Ethernet -verkot	19
2.2.3	Access-verkko	20
2.3	Tietoliikenneverkon fyysiset osat väyläalueilla	20
2.3.1	Tukiasemat	20
2.3.2	Maanpäällinen passiivi-infra	21
2.3.3	Sähköverkko, varavoimalaitteet ja akusto.....	21
2.3.4	Maanalainen passiivi-infra	22
2.4	Tietoliikenneinfran rakentuminen	22
2.4.1	Yhteisrakentamisen merkitys tietoliikenteen asentamiseen.....	22
2.4.2	Ennakkorakentamisen merkitys tietoliikenteen asentamiseen ...	23
2.4.3	Tietoliikenteen asentaminen ilman ennakkorakentamista.....	24
3	TIETOLIIKENNEYHTEYDET MAANTEIDEN PÄÄVÄYLILLÄ	25
3.1	Toimintaympäristö	25
3.1.1	Tieliikenteen nykytila	25
3.1.2	Tieliikenteen toimintaympäristön kehittymistrendit	26
3.1.3	Maantien ympäristön asettamat haasteet digitaalisen infran rakentumiselle	31
3.2	Tietoliikenneyhteydet maantien ympäristössä.....	32
3.2.1	Tietoliikenneyhteyksien omistus ja hallinta maantien ympäristössä	32
3.2.2	Maantieliikenteen tietoliikenneyhteyksien käyttö ja kehitystarpeet.....	33
4	TIETOLIIKENNEYHTEYDET RAUTATEIDEN PÄÄVÄYLILLÄ	38
4.1	Toimintaympäristö	38
4.1.1	Rautatieliikenteen nykytila	38
4.1.2	Rautatieliikenteen toimintaympäristön kehittymistrendit	39
4.1.3	Rataympäristön asettamat haasteet digitaalisen infran rakentumiselle	41
4.2	Tietoliikenneyhteydet rautatieympäristössä	42
4.2.1	Tietoliikenneyhteyksien omistus ja hallinta rautatieympäristössä	42
4.2.2	Rautatieliikenteen tietoliikenneyhteyksien käyttö ja kehitystarpeet	43
5	NÄKEMYKSET TIETOLIIKENNEYHTEYKSIEN KEHITTÄMISESTÄ MAANTIE- JA RAUTATIEYMPÄRISTÖSSÄ.....	47
6	TUNNISTETUT JATKOTOIMENPIDE-EHDOTUKSET	51
	LÄHTEET	64

1 Työn tausta ja tavoitteet

1.1 Työn tausta

Liikenneala on voimakkaassa muutoksessa ja siihen vaikuttavat samanaikaisesti useat muutosajurit. Osa ajureista perustuu ilmastonmuutoksen ja kasvavan liikenteen mukanaan tuomiin haasteisiin. Osa liittyy digitalisaation ja teknologian mahdollisuuksiin. Muutokset tulevat kohdistumaan henkilö- ja tavaraliikenteeseen, teollisuuteen sekä liikenteen palveluihin. Näillä aloilla kehittyvät lainsäädäntö, teknologiat, toimijoiden liiketoimintamallit sekä asiakkaiden tarpeet. Uudistuminen näkyy ensin selvimmin suurissa kaupungeissa, joista uudenlaiset liiketoimintamallit ja palvelut yleensä lähtevät liikkeelle.

Liikenteen ja pääväylien kehitystä ohjaa myös erilaiset eurooppalaiset sekä kansalliset strategiat ja ohjelmat. Pääministeri Rinteen hallitusohjelmassa tavoitteina nostetaan esille toimiva liikenteen infrastruktuuri sekä toimiva viestintä ja tiedonvälitys. Hallitusohjelmassa keinoina on nostettu mm. kattavan valokuituverkon rakentaminen koko maahan, infran yhteisrakentamisen edistäminen sekä digitaalisen infrastruktuurin strategian toteutumisen edistäminen. Lisäksi hallitusohjelmassa linjataan, että valokuituverkon rakentaminen toteutetaan ensisijaisesti markkinaehtoisesti ja vasta toissijaisesti valtion, kuntien ja EU-rahoituksen kautta.

Liikenne- ja viestintäministeriön Digitaalisen infrastruktuurin strategian 2025 mukaan Suomen tavoitteena on digitaalisen infrastruktuurin kehitys vähintään Euroopan unionin laajakaistatavoitteiden mukaisesti. Euroopan komission asettamien tavoitteiden mukaan jokaisessa jäsenvaltiossa suurimmat kaupungit ja niiden keskeisimmät liikenneväylät tulisi kattaa 5G-verkoilla vuoden 2025 loppuun mennessä. Digitaalisen infrastruktuurin strategiassa määritellään Suomelle teknologianeutraalit laajakaistatavoitteet vuodeksi 2025 sekä keinot näiden saavuttamiseksi. Strategia sisältää toimenpiteitä sekä 5G:n käyttöönoton edistämiseksi että valokuiturakentamisen tukemiseksi. Väyliä koskevat toimenpiteet liittyvät erityisesti verkkojen kustannustehokkaan ja nopean rakentamisen edistämiseen sekä älyliikenteen ja liikenteen automaation kehittymisen tukemiseen verkkopolitiikalla.

Liikennealan muutoksen merkittävyys on tunnistettu myös liikennesektorin ulkopuolella. Työ- ja elinkeinoministeriön johdolla on laadittu Liikennealan kansallisen kasvuohjelma 2018–2022, jonka lähtökohtana on edistää toimialan yritys vetoista kehitystä, kasvua ja kansainvälistymistä. Ohjelman tarkoituksena on edistää Suomen asemaa kansainvälisesti tunnettuna liikennealan tutkimuksen ja innovaatiotoiminnan, huippuosaamisen, investointien ja uuden liiketoiminnan edelläkävijänä. Yhtenä osana tätä kokonaisuutta tavoitellaan, että liikenneala Suomessa on ennakkoluuloton edelläkävijämarkkina uusien teknologioiden ja palveluiden käyttäjälähtöisessä pilotoinnissa.

1.2 Työn tavoitteet

Esiselvityksen tarkoituksena on tunnistaa digitaalisen infran tuomat hyödyt, tarpeet ja haasteet väyläviranomaisen toiminnassa sekä tunnistaa, miten Väylä voi roolissaan mahdollistaa ja edistää tietoliikenneverkkojen kehittymistä. Työn tavoitteena on antaa syötteitä Väyläviraston toiminnan suunnittelulle ja kehittämiselle sekä lisätä väylänpidon eri osapuolten tietoisuutta tietoliikennekysymysten vaikutuksesta toimintatapoihin. Selvityksessä on myös tunnistettu julkisten ja yksityisten toimijoiden tehtävien jakautuminen.

Työssä on pyritty vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Millä tavoin väyläviranomainen voi toimia tietoliikenneinfran ja sen päälle syntyvien palvelujen mahdollistajana?
 - Mikä on työ- ja vastuujaako Väyläviraston ja muiden toimijoiden kesken?
 - Millaisia kehittämistarpeita nousee koskien tietoliikenneinfran rakentamiseen ja kehittämisen toimintatapoja ja -ohjeita?
- Mitä toimia Väylävirastolta edellytetään, jotta se voi hyödyntää tietoliikenneinfraa ja -palveluita väylänpidossa?
 - Millaisia tarpeita kohdistuu viraston oman toiminnan suunnittelulle?
- Millaisia yhteistyömalleja tulisi kehittää eri osapuolten suuntaan?
 - Millaisia synergiaetuja voidaan tunnistaa eri toimijoiden välillä, erityisesti kaupunkien, operaattorien ja liikenteenohjausyhtiöiden kanssa?
 - Millaisia odotuksia operaattoreilla on Väyläviraston toiminnalle?

2 Tietoliikenneyhteydet

2.1 Langattomat tietoliikenneyhteydet

2.1.1 5G-verkko

5G on termi, jolla kuvataan uutta mobiiliverkkosukupolvea. Aikaisemmat 3G- ja 4G-sukupolvet ratkaisivat pääosin kasvaneiden tiedonsiirtotarpeiden haasteita tuomalla käyttäjille mahdollisuuden suurempiin nopeuksiin. 5G mahdollistaa enemmän kuin nopeuksien kasvattamisen, sillä se tuo mukanaan uusia erilaisia toiminnallisuuksia ja ominaisuuksia, kuten fyysisen verkkokapasiteetin jakamisen verkon virtualisoinnin avulla.

2.1.1.1 5G-teknologia mahdollistaa uusia käyttötapauksia

5G-verkko on seuraavan sukupolven mobiiliverkko, jossa radioverkon ominaisuuksia on parannettu mm. useampien taajuusalueiden käytöllä sekä mahdollisuudella suuremman tietomäärän välittämiseen. 5G-verkossa verkon älykkyyttä on mahdollista tuoda aiempaa lähemmäs käyttäjää ja pienentää latenssia reunalaskennalla eli verkkopalvelujen tuottamisella pilvipalvelujen avulla fyysisesti lähemmäksi käyttäjää.

5G-verkon ominaisuudet mahdollistavat täysin uusia käyttötapauksia uuden sukupolven teknologioille, joiden tärkeimmiksi käyttökohteiksi ITU-R (International Telecommunication Union, Radiocommunications Sector) on määritellyt kolme käyttökohdetta: eMBB, uRLLC ja mMTC.

eMBB (*Enhanced Mobile Broadband*) - 5G mahdollistaa erittäin nopeat, jopa 10 Gbit/s yhteysnopeudet ja suuremman kapasiteetin mobiiliverkon yli. Tämä tarkoittaa, että ensimmäistä kertaa langattomat teknologiat tarjoavat vaihtoehdon kiinteille yhteyksille.

uRLLC (*Ultra-Reliable Low-Latency Communications*) 5G teknologian myötä langattomien verkkojen luotettavuus kasvaa merkittävästi ja niissä esiintyvä viive laskee tasolle, joka pystyy kilpailemaan jopa valokuidun kanssa. 5G on ensimmäinen langaton teknologia, joka pystyy tarjoamaan luotettavat ja matalaviiveiset yhteydet.

mMTC (*Massive Machine Type Communications*) - 5G-verkkoteknologia mahdollistaa, että samassa solussa voidaan liittää moninkertaisen määrän laitteita verkkoon. Solun kylläisyyden kasvaminen mahdollistaa mIoT (massive internet of things) toteuttamisen 5G teknologialla.

2.1.1.2 5G-verkko tuo uusia ominaisuuksia

5G-verkon ominaisuudet ja toiminnallisuudet mahdollistavat uusien palveluiden tuottamisen ja toimittamisen entistä helpommin ja viiveettömämmin. Uudet ominaisuudet luovat pohjan ja mahdollisuudet uusille käyttötapauksille.

Perusominaisuudet - Viidennen sukupolven mobiiliverkot eivät tarkoita vain kasvanutta yhteysnopeutta, vaan se on useiden eri teknologioiden, fyysisen ja virtuaalisen verkkoarkkitehtuurin, sekä verkkotopologian muodostama erottamaton kokonaisuus, jolla pyritään täyttämään uusimpaan verkkosukupolveen kohdistuvat odotukset. Kokonaisuus on suunniteltu siten, että päätelaitteilla olisi käytössään verkko, jonka nopeus, viiveettömyys (latenssi) ja toimintavarmuus vastaisi ominaisuuksiltaan valokuituyhteyttä. Samanaikaisesti radioliityntäverkkojen solujen kapasiteetin on kyettävä palvelemaan moninkertaistuvaa laitetiheyttä. Mikäli viidenteen mobiiliverkkosukupolveen kohdistetut odotukset toteutuvat, kykenevät mobiiliyhteydet ensimmäistä kertaa lähes tasapäisesti kilpailemaan, ja joissain käyttötapauksissa jopa lyömään kiinteät valokuituyhteydet.

Nopeus	Latenssi (on air)	Laitetiheys
10 Gbit / s	1 ms	$1 \cdot 10^6$ / 1 km ²

Piensolut - Eräänä merkittävimpana tekijänä langattomien verkkojen nopeuden, kapasiteetin ja viiveettömyyden kasvulle on siirtyminen korkeille taajuuksille. Siirtyminen korkeille taajuuksille tarkoittaa siirtymistä entistä pienempiin mobiiliverkon solukokoihin, sillä korkeilla taajuuksilla signaalin kantavuus, peitto ja läpäisykyky ovat heikommat. Toisaalta pienentynyt solukoko mahdollistaa osalltakaan latenssin pienenemisen.

Reunalaskenta - Reunalaskenta tarkoittaa, että laskentaa suorittavia resursseja tuodaan entistä lähemmäksi laskentaa tarvitsevaa verkon käyttäjää tai sitä käyttävää laitetta. Reunalaskentaa tarvitaan pienentämään verkon viivettä ja vähentämään verkon ruuhkaisuutta. Esimerkiksi kaikkien mIoT-hyötyjen ulosmittaaminen vaatii nk. MEC:tä (multi-access edge computing).

Viipalointi - Verkon viipalointi tarkoittaa, että verkkoon voidaan luoda omia virtuaalisia verkkoja käyttökohde-, käyttäjäryhmä- tai asiakaskohtaisesti. Viipalointi mahdollistaa, että tälle virtuaaliselle verkolle on omistettuna aina oma nopeus ja kapasiteetti. Ominaisuus mahdollistaa myös lisääntyneen turvallisuuden, kun liikenne päätelaitteiden välillä kulkee omassa virtuaalisessa verkossaan.

MA-MIMO - "Massive Multiple Input and Multiple Output"-antennit, ovat suuria antennejä, jotka kykenevät lähettämään ja vastaanottamaan useita signaaleita samanaikaisesti. Tämä mahdollistaa solun kapasiteetin ja laitetiheyden kasvattamisen. Samat antennit kykenevät myös säteenmuodostukseen.

Säteenmuodostus - Säteenmuodostus tarkoittaa, että mobiiliverkossa operoiva päätelaite vastaanottaa lähettävästä antennista tai antennista sille yksilöllisesti optimoitua ja sitä seuraavaa sädetä. Säteenmuodostus mahdollistetaan

hyödyntämällä useaa antennia signaalin lähetyksessä, sekä signaalin heijastumista pinnoista. Tämä parantaa yhteyden laatua ja nopeutta. Säteenmuodostusta kyetään käyttämään myös laitteen paikannuksessa.

2.1.1.3 5G-verkko tulee toimimaan useilla eri taajuuksilla

5G-verkkoarkkitehtuurin kehityksen lisäksi merkittävä osa yhteysnopeuksien kasvusta saavutetaan siirtymällä entistä korkeammille taajuuksille. 5G-verkot tulevat ensimmäisessä vaiheessa perustumaan keskitaajuuksiin eli 3,5 GHz taajuusalueelle, joka huutokaupattiin vuonna 2018. Huutokaupassa 3410–3800 MHz:n taajuusalueelta kaupattiin yhteensä kolme 130 MHz:n suuruisen taajuuskaistan käyttöön oikeuttavaa toimilupaa Elisalle, DNA:lle ja Telialle. 3,5 GHz:n taajuusalueelle myönnettävät toimiluvat ovat voimassa vuoden 2019 alusta lähtien.

Seuraavassa vaiheessa siirrytään myöntämään 5G-verkon korkeiden taajuuksien (24.5–27.5 GHz) käyttöoikeuksia. Suunnitelmien mukaan käyttöoikeuksien myöntäminen alkaa vuoden 2020 aikana. Korkeiden taajuuksien käyttö mahdollistaa tiedonsiirtokapasiteetin ja -nopeuksien kasvattamisen. Korkeiden taajuusalueiden heikkouksiin kuuluu signaalin lyhyempi kantama sekä helpompi häiriöherkkyys esimerkiksi signaalin tiellä oleville esteille, kuten rakennuksille. Yleensä, kun 5G-yhteydessä mainitaan haasteet signaalin kuuluvuudelle ja lyhyille kantamille, keskustelussa tarkoitetaan usein nimenomaan 26 GHz taajuusalueen käyttöä.

Keskitaajuuksien ja korkeiden taajuuksien lisäksi 5G-verkkoa saatetaan toteuttaa tulevaisuudessa matalille taajuuksille eli esimerkiksi 700 MHz taajuudelle. Nykyisin 4G-verkon käytössä oleva 700 MHz:n taajuus huutokaupattiin operaattoreille ja se on ollut käytössä vuoden 2017 alusta. 700 MHz:n taajuuksilla ei päästä vastaaviin tiedonsiirtonopeuksiin kuin korkeammilla taajuuksilla, mutta sen teknisenä etuna on signaalin pidempi kantama, joten sen avulla on mahdollista laajentaa 5G-peittoa kustannustehokkaasti. Lisäksi vähintään osa 5G-ominaisuuksista tullaan ajan myötä migratoimaan aikaisempien mobiiliverkkosukupolvien käyttämille taajuuksille.

5G-verkon toiminnallisuudet, kuten lyhyt viive ja 5G-coren avulla toteutettava verkon viipalointi ovat mahdollisia myös periaatteessa kaikilla taajuusalueilla, eivätkä ne nykyisen ymmärryksen mukaan ole sidottu erityisesti tiettyyn taajuusalueeseen. Periaatteessa 5G mahdollistaa myös teknologioiden tuomisen nk. lisensoimattomille taajuuksille, jossa operaattoreiden tarjoamaa verkkoidentiteettiä hyödyntämällä voitaisiin hyötyä 5G:n teknologisista eduista esimerkiksi WLAN-taajuuksilla.

Alla olevassa taulukossa on kuvattu eri taajuusalueiden ominaisuuksia suuntaantavalla tasolla. Todellisuudessa luvut riippuvat monista tekijöistä. Luvut tarkentuvat, kun 5G osalta saadaan kokemuksia todellisessa käyttöympäristössä.

	4G	5G		
		Matalat taajuudet (700 MHz)	Keski-taajuudet (3,5 GHz)	Korkeat taajuudet (26 GHz)
Tiedonsiirto (download)	5-300 Mbit/s	"kymmeniä Mbit/s"	~1 Gbit/s	~10 Gbit/s
Tiedonsiirto (upload)	5-30 Mbit/s	-	~1 Gbit/s	~10 Gbit/s
Latenssi (ms) (päätelaitte – tukiasema)	> 10 ms	> 1 ms	> 1 ms	> 1 ms
Tukiaseman kantama "esteettö- mässä metsäisessä väyläympä- ristössä"	2 -15 km	2 – 15 km	500m – 2 km	30 – 300 m
Tuki verkon viipaloinnille	-	✓	✓	✓

2.1.2 Vanhemmat mobiiliverkkoteknologiat ja muut radioverkot

Mobiiliverkkoteknologiat ovat kehittyneet nopeasti jatkuvasti kasvavan tiedon määrän ja tiedonsiirtonopeuksien tarpeiden kasvaessa. Vaikka 5G-tekniikan käyttöönotto tulee mahdollistamaan uusia palveluita, vanhemmat mobiiliverkkoteknologiat tarjoavat edelleen riittävät tietoliikenneyhteydet moniin käyttötarkoituksiin. Lisäksi osa 5G:n ominaisuuksista on jo tuotu tai ollaan tuomassa myös 4G-tekniikkaa hyödyntäville laitteille.

3G-tekniikka eli kolmannen sukupolven mobiilitekniikka suunniteltiin puhelienkennettä, mutta myös internetin kautta tapahtuvaa tiedonsiirtoa varten. 3G:n suurin ero aikaisempiin sukupolviin (1G ja 2G) on tiedonsiirtonopeus ja -tapa. Suomessa 3G hyödyntää UMTS-standardia. 3G-tekniikan tiedonsiirtokyky on 5-35 Mbit/s vastaanotossa ja 0,1-4 Mbit/s lähetyksessä. Verrattuna aikaisempiin sukupolviin liikenteen käsittelyä tukiasemilla kasvatettiin eli tukiasemista tehtiin älykkäämpiä, jolloin tukiaseman ja keskuksen välillä olevaa kuormaa ja signaalointimäärää saatiin vähennettyä.

4G-sukupolven verkoissa älykkyyttä siirrettiin entistä enemmän päätelaitteille ja signaalointirajapintoja luotiin enemmän verkon eri elementtien välille tarkoituksena saada IP-verkon yli suora reitti käyttäjän dataliikenteelle ja näin ollen kapasiteetti mahdollisimman suureksi ja latenssiajat pieniksi. 4G-mobiiliverkon tiedonsiirtokyky on vastaanoton osalta 5-300 Mbit/s ja lähetyksen osalta 5-30 Mbit/s. Viiveen osalta 4G ylittää yleensä noin 30-40 millisekunnin latenssiin, joten 4G-verkon avulla voidaan käyttää jo huomattavasti reaaliaikaisempaa tiedonsiirtoa vaativia palveluita.

NB-IoT mahdollistaa vähäisen virrankulutuksen laitteet NB-IoT tekniikka on kehitetty nimensä mukaisesti IoT-päätelaitteita varten. Kaikki Suomen kaupalliset mobiilioperaattorit ovat aloittaneet NB-IoT tekniikan käyttöönoton LTE-verkoissaan ja sen peittoalueen on arvioitu olevan lähes valtakunnallinen vuoden 2020 loppuun mennessä. NB-IoT on suunniteltu matalaa tiedonsiirtokapasiteettia ja virrankulutusta silmällä pitäen. Verkon tiedonsiirtonopeus on parhaimmillaan 250 kbit/s ja se toimii noin 1,6-10 sekunnin viiveellä. Se tarjoaa hyvän signaalin kantavuuden ja läpäisykyvyn, joten NB-IoT-verkkoihin tukeutuvat sensorit ja anturit voidaan sijoittaa esim. maan alle tai rakenteiden sisään. NB-IoT tekniikka soveltuu paikallaan oleville sensoreille, tunnistimille ja antureille. NB-IoT tekniikkaa hyödyntävät sensorit voivat toimia ilman latausta lukuisia

vuosia. Ne voidaan ohjelmoida lähettämään ja vastaanottamaan dataa jatkuvasti, tietyinä aikana, tietyin ajanjaksoin tai tietyn ehdon tapahtuessa. Päätelaitteissa on lisäksi virransäästötila.

LTE-M tukee liikkuvia sensoreita ja mahdollistaa nopeat yhteydet LTE-M perustuu NB-IoT tavoin 4G-tekniikkaan. Se on suunniteltu kuluttamaan vähemmän virtaa kuin perinteiset mobiilitekniikat. LTE-M tekniikka ei kuitenkaan yllä yhtä matalaan virrankulutukseen, kuin NB-IoT tekniikka, mutta se mahdollistaa suuremmat yhteysnopeudet (1 Mbit/s) ja pienemmän viiveen (15 ms) sekä se tukee puheen/äänen kaksisuuntaista siirtoa 4G-verkon yli (VoLTE). Tekniikka soveltuu paikallaan olevien päätelaitteiden lisäksi liikkuville sensoreille.

Lisäksi markkinoilla on useita muita yksityisten yritysten kehittämiä IoT-sensoreille, ja muille terminaaleille suunniteltuja langattomia verkkoja. Vain NB-IoT ja LTE-M ovat 3GPP:n kehittämiä ja kaupalliset tietoliikenneoperaattorit laajemmin käyttöön ottamia.

2.2 Verkkoarkkitehtuuri ja topologia

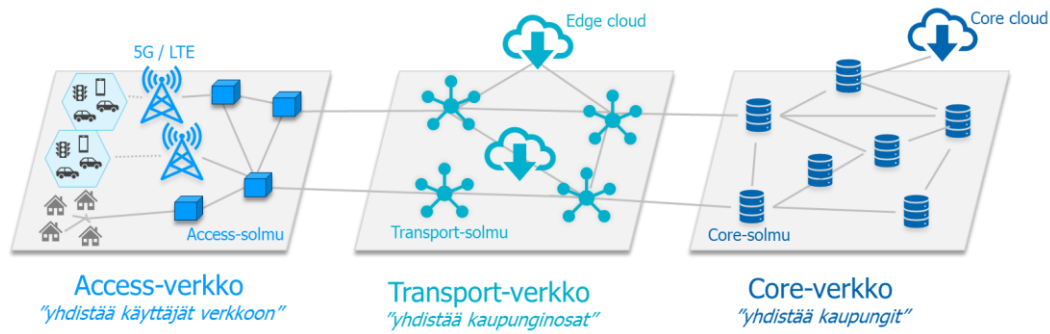
5G-verkon toiminta perustuu fyysiseen tietoliikenneinfrastruktuuriin sekä ohjelmallisesti toteutettuihin verkon toiminnallisuutta ja palveluita tuottaviin hajautettuihin pilvipalveluihin. Kiinteän verkon toiminta perustuu perinteisempään aktiivilaitteilla toteutettuihin verkon toiminnallisuuksiin.

5G-arkkitehtuuri pohjautuu kiinteän verkon infraan, joka on toteutettu valokuiduilla tai muulla riittävän nopeuden tuottavalla medially. Tukiasemien välisiä yhteyksiä voidaan toteuttaa myös linkeillä, mutta näin toimitaan poikkeustapauksissa ja lopulta linkkienkin taustalta löytyy fyysinen kaapeliverkko.

5G-verkko koostuu topologisesti kolmesta osasta; core-verkosta, transport- eli siirtoverkosta ja access- eli liityntäverkosta. Liityntäverkkoa voidaan kuvata viimeiseksi haaraksi, jossa loppukäyttäjä liittyy operaattorin verkkoon. Liityntäverkon liityntärajapintana loppukäyttäjälle voi olla operaattorin tukiasemassa sijaitseva antenni tai kodin seinässä oleva kiinteä kaapeliverkon verkkopistorasia. Liityntäverkkojen koko vaihtelee, mutta ne voivat olla esimerkiksi yhden omakotitaloalueen kokoisia.

Liityntäverkon ja siirtoverkon rajapinta on häilyvä. Käsitteellisesti verkko muuttuu siirtoverkoksi, kun yhteys lähtee eteenpäin ensimmäiseltä useita asiakasyhteyksiä kokoavasta tukiasemasta tai laitetilasta. Esimerkiksi masto, jossa on operaattorin antenni, kokoaa useamman loppukäyttäjän yhteydet ja lähettää ne maston aktiivilaitteiden runkoyhteyttä pitkin eteenpäin. Siirtoverkot sijaitsevat fyysisesti kaupunkien isoimpien katujen infrassa ja osin myös väylien varrella.

Siirtoverkko yhdistyy toisessa päässä runkoverkkoon, joka yhdistää kaikki siirtoverkot ja niiden kautta myös liityntäverkot toisiinsa. Runkoverkossa on tiedonsiirronäkökulmasta suurin kapasiteetti. Runkoverkot ovat usein kaupunkien välillä olevia yhteyksiä ja siten ne sijoittuvat usein väylien varteen.



Kuva 1. 5G-verkko koostuu topologisesti kolmesta osasta; Core-, Transport- ja Access-verkosta

5G:tä hyödyntävien palveluiden lisääntyessä fyysistä tietoliikenneverkkoa on todennäköisesti rakennettava lisää ja verkkoa tihennettävä, jotta 5G verkon palveluiden toiminta saadaan taattua sekä peittoaluetta laajennettua. Verkon fyysinen rakenne pyritään toteuttamaan siten, että fyysinen etäisyys loppukäyttäjän päätelaitteen ja sen tarvitsemien resurssien, kuten reunalaskennan palvelimien, välillä jää mahdollisimman lyhyeksi. Yksi osa 5G-verkon matalasta viiveestä perustuu palveluntuotannon sijoittamiseen siirtoverkon osiin reunalaskinpalvelinten avulla. Aiemmissa verkkosukupolvissa palvelut ovat usein sijainneet topologian kannalta runkoverkossa.

5G-verkon kehitysaskeleena mainitaan usein toimintavarmuus. Sillä viitataan ominaiskykyyn viipaloida tiettyä taajuusaluetta taatun tiedonsiirtonopeuden takaamiseksi loppukäyttäjän palvelulle sekä datapakettien käsittelyviiveen pienentämiseen niitä käsittelevien laitteiden välillä. Fyysisen verkon puolella 5G-verkon varayhteys- ja muut varmennustarpeet, kuten varavoiman käyttö, ovat vastaavia kuin aiemmissa mobiilisukupolvissa ja kiinteässä verkossa. Lähtökohteisesti Core- ja Transport-verkoissa kaapeliyhteydet on rakennettu kulkemaan vähintään kahta fyysisesti eriävää reittiä, jolloin yhden kaapelin mennessä esimerkiksi poikki, yhteys on järjestettävissä varayhteyden kautta. Access-verkossa yhteyksiä mobiilitukiasemille tai kiinteän yhteyksien liittymiin ei ole yleensä rakennettu varareitein ellei käyttäjän tarpeet sitä lähtökohteisesti edellytä (esim. sairaalat, tehtaat, yms.) ja loppukäyttäjät ole valmiita maksamaan toimintavarmuudesta. Käytännössä mobiiliverkon varayhteydet yleensä toteutetaan siten, että tukiaseman häiriötilanteessa tietoliikenne ohjataan seuraavaksi lähimpään mobiilioperaattorin tukiasemaan tai alemman mobiilisukupolven verkkoon. Poikkeuksena perusmenettelystä tulee todennäköisesti olemaan viranomaisverkkokehitys (VIRVE 2.0), jossa lainsäädännöllä mahdollistetaan, että palvelun häiriötilanteessa minkä tahansa operaattorin mobiiliverkot ovat hyödynnettävissä.

2.2.1 Core-verkko

Core-verkko on topologisesti tietoliikenneverkon ytimessä. Core-verkon kautta kulkevat esim. maanosien ja valtioiden väliset yhteydet. Core-verkko yhdistää eri Metro-verkot toisiinsa metro-verkon aktiivilaitteiden runkoyhteyksien kautta. Core-verkon laitteet ovat yhteyskapasiteetiltaan ja tiedonkäsittelyltään tehokkaimpia laitteita ja niiden runkoyhteyksien nopeudet ovat tarpeen vaatiessa jopa 400 Gbit/s. Core-verkko koostuu kiinteän verkon siirtoyhteyksistä ja Core-laitteista. Core-laitteet voivat sijaita fyysisesti tukiasemalaitteiden vieressä, mutta usein ne ovat sijoitettu kaupunkien isoimpiin laitetiloihin. Laitteet eivät

vaadi fyysisesti suurta tilaa vaan mahtuvat tavalliseen laitekaappiin, mutta niiden redundanttisuus eli vikasietoisuus tulee varmistaa varavoimalaitteilla tai akustoilla niiden kriittisyyden vuoksi.

Core-verkon runkoyhteydet kulkevat usein kaupunkien välillä ja sijoittuvat tämän vuoksi usein pääväylien varrella kulkeviin valokuitukaapeleihin. Kaapelien koot vaihtelevat tarpeen mukaan yleensä 48-kuituisista 432-kuituisiin kaapeleihin, mutta yleisimpiä kaapelikokoja runkoverkon kaapeloinneissa ovat 192-kuituiset kaapelit. Core-verkko toteutetaan redundanttiseksi silmukoimalla aktiivilaitteet sekä varavoimalaitteilla ja akustoilla. Core-verkon vikatilanteissa vaikutusalue on hyvin suuri, mutta Core-verkon yhteyksien ja laitteiden redundanttisuuden vuoksi kaapelin vioittumisen ei pitäisi katkaista yhteyksiä kuin korkeintaan hetkellisesti liikenteen kääntyessä varareitille. Core-verkossa operaattoreiden liikenne yhdistyy toisiinsa yhteisten solmupisteiden eli ns. nielujen kautta.

5G-arkkitehtuuriin näkökulmasta 5G-verkon Core perustuu verkon toiminnallisuuksiin, jotka on toteutettu virtualisoimalla pilveen. Virtualisoiduilla verkon palveluilla saadaan hyötyjä mm. verkonhallinnassa, kun verkkoon tehtävät muutokset voidaan tehdä ohjelmallisesti. Esimerkiksi verkon viipalointi, yksi 5G-arkkitehtuurin oleellisimmista toiminnallisuuksista, tehdäänkin nimenomaan 5G-coressa. Virtualisoinnilla verkon toiminnallisuudet saadaan joustavammiksi, tehokkaammiksi ja skaalautuvammiksi kuin aiemmilla teknologiolla.

2.2.2 Transport ja Metro Ethernet -verkot

Transport eli siirtoverkolla kuvataan Access-verkon ja Core-verkon välissä olevaa verkon osuutta. Kaupunkialueilla siirtoverkko kulkee hieman yksinkertaista kaupunginosien välillä sekä osin myös väylien varressa. Kiinteän verkon siirtoverkosta käytetään usein nimitystä Metro Ethernet-verkko. 5G:n kannalta Transport-verkko hoitaa kahta asiaa. Ensinnäkin se siirtää tietoa Access-verkon ja Core-verkon välillä. Toiseksi se on verkon osa, jossa toteutetaan reunalaskentaa ns "Edge Cloudissa". Reunalaskennan avulla pystytään vaikuttamaan merkittävästi 5G-verkon latenssiin, sillä hajautetun pilven avulla laskentaresurssi verkon toiminnallisuuksille saadaan lähemmäs loppukäyttäjää tai sovellusta. Aiemmin laskenta on saatettu toteuttaa esimerkiksi vain isompien kaupunkien datakeskuksissa. Reunalaskentaa todennäköisesti ei kuitenkaan tarvitse tuoda aivan käyttäjän välittömään läheisyyteen, vaan viivettä saadaan pienennettyä merkittävästi jo tuomalla laskentatehoa esim. lähimpiin operaattorin laitetiloihin, jotka taajama-alueilla sijaitsevat usein 0,5–10 km etäisyydellä käyttäjästä.

Siirtoverkot ovat yleensä toteutettu silmukoituna eli runkoyhteys on toteutettu kahteen tai useampaan suuntaan. Redundanttisuuden vuoksi esimerkiksi väylän varressa tapahtuvan valokuitukaapelin katkeamisen ei pitäisi aiheuttaa vikatilannetta. Näissä tapauksissa liikenne kääntyy automaattisesti tai se käännetään kulkemaan silmukassa toista reittiä pitkin määränpäähänsä. Siirtoverkon aktiivilaitteet sijaitsevat lähes poikkeuksetta operaattorin hallinnoimissa laitetoissa ja niitä voi olla esimerkiksi yksittäisen kaupungin alueella useita esim. jokaista kaupunginosaa kohden, riippuen tarpeesta. Osa laitteista voi olla sijoitettu myös väylien läheisyyteen, mutta pääsääntöisesti ne eivät siellä sijaitse. Siirtoverkon aktiivilaitteet ovat erilaisten vikatilanteiden varalta usein kytketty varavoimaan.

2.2.3 Access-verkko

Access-verkko eli liityntäverkolla kuvataan verkossa loppukäyttäjää tai sovelusta lähimpänä olevaa verkon osuutta. Liityntäverkkoja ovat esimerkiksi omakotitaloalueen kattava kuituverkko tai matkapuhelintukiasema, jonka kautta loppukäyttäjien laitteet yhdistyvät langattomasti operaattorin verkkoon. Mobiiliverkoissa Access-verkoista käytetään nimitystä Radio Access Network eli RAN. Access-verkkoon kuuluvat mm. tukiasemat ja niiden radiot. Liityntäverkon avulla käyttäjät liittyvät operaattorin langattomaan verkkoon. Liityntäverkko sisältää kaikki verkon komponentit kaapeleista aktiivilaitteisiin loppukäyttäjän ja palveluntarjoajan rajapinnan välillä. Käytettävä liityntäverkkotekniikka riippuu loppukäyttäjän tarpeista.

RAN-verkot koostuvat eri kokoisista soluista. Solut ovat yksittäisiä peittoalueen osia, jotka kattavat tietynkokoisen maantieteellisen alueen. Solujen koot vaihtelevat ja ne määritellään esimerkiksi käyttötarkoituksen, käyttäjämäärän ja maantieteellisen laajuuden mukaan. Mikrosolut määritellään kymmenien metrien peittoalueelle, makrosolut taas ovat harvaan asuttujen alueiden solukokoja, joilla peittoalue mitataan kilometreissä. Liityntäverkkoa ei yleensä kulje pääväylien varressa. Jos jatkossa liikenteen tarpeet edellyttävät korkeataajuuksisen verkon tukiasemien toteuttamisen, viimeiset metrin väylien varressa todennäköisesti toteutettaisiin liityntäverkkona. Liityntäverkkojen haaroituspisteeseen eli usein jakokaappiin tulevana runkokaapeleina käytetään usein 48–192 kuituisia kaapeleita ja jakokaapista kiinteistöjen suuntaan usein 4–24 kuituisia kaapeleita riippuen kiinteistöjen tarpeista. Niiden suojaamisessa voidaan hyödyntää perinteisiä 110 mm suojaputkia tai mikroputkitusta. Liityntäverkkoa koskevilla vikatilanteilla yhteydet katkeavat, sillä liityntäverkon osuutta ei yleisesti rakenneta redundanttiseksi.

2.3 Tietoliikenneverkon fyysiset osat väyläalueilla

2.3.1 Tukiasemat

Tukiasemapaikka valikoidaan yleensä maantieteellisen sijainnin ja käyttötarkoituksen mukaan. Tukiasemapaikkoja voivat olla esimerkiksi mastot ja pylväät, kiinteistöjen katot ja seinät, valaisinpylväät ja muut erityiskohteet tarpeen mukaan. Tukiasemia voidaan toteuttaa esimerkiksi tukiasemavaunujen avulla liikuttaviksi esimerkiksi isoja tapahtumia tai työmaita varten. Tukiasemamastojen ja pylväiden korkeus vaihtelee tyypillisesti 30–150 metrin välillä riippuen tukiasemapaikasta ja käyttötarkoituksesta. Myös käytettävä taajuus vaikuttaa tukiasemapaikkaan ja toteutustavan valintaan. Korkean taajuuden eli lähinnä 26 GHz taajuutta hyödyntäville 5G-verkoille on esitetty lyhyen kantaman vuoksi tukiasemien asennusta teiden välittömään läheisyyteen. 5G-verkon rakentamiseksi uusille tukiasemille ei aluksi ole tarvetta, sillä 5G tullaan ottamaan käyttöön ensin matalammilla taajuuksilla, jolla saadaan toteutettua haluttu peittoalue.

Tukiasemien laitteet koostuvat tyypillisesti keskusyksikkö, tukiasema-antennista ja radiosta eli RF-yksiköstä. Tukiasemalle sijoitettavaa antennia käytetään sähkömagneettisten aaltojen vastaanottoon ja lähettämiseen. Antennikoko määräytyy käyttötarkoituksen ja käytettävän taajuuden sekä tekniikan mukaan. Antenni on yhdistetty kaapelilla RF-yksikköön, josta valokuitukaapelilla muodostetaan yhteydet keskusyksikön kautta siirtoverkkoon. Keskusyksikkö ja radio hallitsevat antennipiirin toimintaa ja ohjaavat signaalit oikeisiin paikkoihin. RF-yksikkö voidaan sijoittaa joko mastoon tai esimerkiksi tukiasemakoppiin asennettavaan laitetelineeseen. Tukiasemilla laitetilaan tai tukiasemakoppiin voidaan asentaa myös akustot sähkökatkoja varten. Mitoituksen kannalta tukiaseman laitetilana voi toimia kiinteistön jakamotila kuten myös maston juureen rakennettu koppi, jonka koko vaihtelee yleensä noin 4–12 m² välillä.

2.3.2 Maanpäällinen passiivi-infra

Maanpäällinen passiivi-infra muodostuu kaapeista, jakamoista sekä erilaisista muista tiloista, joihin verkon aktiivilaitteita voidaan sijoittaa. Kaapit ja jakamot ovat pieniä maan päälle sekä ulko- ja sisätiloihin sijoitettavia kaapeleiden jatkamis- ja ristikytke-tiloja. Niiden tarkoituksena on mahdollistaa helppo pääsy kaapeleihin, jotta pari- ja kuitukaapeleita voidaan haaroittaa ja niiden yhteyksiä järjestellä uudelleen vaivattomasti. Kaappeja ja jakamoita sijoitetaan tyypillisesti kohtiin, joissa isompia kaapeleita haaroitetaan useiksi pienimmiksi kaapeleiksi, kaapeleita jatketaan tai kaapeleiden tyyppiä on tarpeen vaihtaa. Kaappeja ja jakamoita asennetaan tarpeen mukaan ja niiden tarkemmat sijoituspaikat selviävät vasta tarkemmassa verkkosuunnittelussa.

Ristikytke-, tele-, laitetilat ja keskuksset ovat tiloja, joissa tietoliikennekaapeleita ja fyysisiä tietoliikenneyhteyksiä järjestellään. Tiloihin sijoitetaan tyypillisesti tietoliikenneverkon aktiivilaitteita, varavoimakoneita ja akustoja. Tiloissa voi sijaita mobiili- ja kiinteään verkkoon liittyviä Access-, Metro-, tai Core-verkon laitteita. Tilojen koko voi vaihdella yksittäisistä huoneista lukuisiin huoneisiin, halleihin, rakennuksiin ja luoliin. Useimmiten tilat kuitenkin ovat yksittäisiä huoneita parkkihalleissa, kellareissa, pohjakerroksissa ja vinteilä, mutta niitä on myös maantie-, rautatie- ja metrotunneleissa.

2.3.3 Sähköverkko, varavoimalaitteet ja akusto

Mobiilitukiasemat tarvitsevat jatkuvaa sähkönsyöttöä. Ne hyödyntävät usein paikallisia ja valtakunnallisia sähköverkkoja. Tulevien mobiiliasemien rakentamiseen voi olla tarvetta varautua ennakolta mm. sähköverkon kapasiteetissa. On arvioitu, että kokonaan uuden tukiasemapaikan sähköntarve on operaattori-kohtaisesti n. 5–7 kW. Korkeataajuuksisten 5G-tukiasemien sähkönkulutuksesta ei ole saatavilla vielä varmaa tietoa, mutta ensimmäisten arvioiden mukaan yhden 5G-piensolutukiaseman on arvioitu tarvitsevan jopa 1–3 kW tehon. Tukiasemien tehontarve on riippuvainen tietoliikenteestä. Tekniikan kehittyessä sähkötarpeet voivat myös laskea nykyisestä. Korkeataajuuksisen tukiaseman sähköntarve on kuitenkin hyvin todennäköisesti enemmän kuin tievalaisimet, joiden kulutus on noin 100–500 W. Tukiasemilta edellytetään toimintavarmuutta, joten sähkönsyöttö tulee myös varmistaa myös sähkönjakelun häiriötilanteissa. Radioyksiköt ovat ainakin osin myös mahdollista varmistaa UPS-akuilla häiriötilanteita varten.

Varavoimatekniikalla pystytään varmistamaan tietoliikenteen toimintakyky sähkönsyötön häiriötilanteissa. Varavoimalaitteisiin kuuluvaksi lasketaan erilaisilla polttomootoreilla ja -kennoilla toimivat generaattorit, jotka käynnistyvät sähköön jakelun keskeytyessä. Seuraavan sukupolven mobiiliverkkoratkaisut lisäävät varavoimakoneiden kapasiteetti- ja määrävaatimuksia merkittävästi. Lainsäädäntö ja viranomais määräykset määräävät varavoimatekniikkaa keskuksissa sekä laite- ja tukiasemilla.

Varavoimalaitteiden lisäksi akustot parantavat tietoliikenteen huoltovarmuutta. Kuten varavoimakoneisiin, myös akustoihin kohdistuu kapasiteetti- ja määrävaatimusten kasvua. Erityisesti lisääntyvien akustojen määrä tuottaa merkittäviä haasteita rakenteiden kestävyydelle painorasituksen kasvaessa.

2.3.4 Maanalainen passiivi-infra

Maanlaisella passiivi-infralla tarkoitetaan maanalaisia osia ja rakenteita, joiden tarkoituksena on mahdollistaa, suojata ja edesauttaa tietoliikenneverkon rakentumista. Keskeisiä maanalaisia passiivi-infran osia ovat suojaputket, kaapelikanavat ja kaapelikaivot.

Kaapelikanavat ovat tyypillisesti umpi- tai avorakenteisia muovista, metallista tai betonista valmistettuja kaapeleiden sijoitus- ja kiinnityspaikkoja. Ne voivat sijaita maan päällä tai rakenteiden sisällä. Tyypillisesti kaapelikanavia asennetaan paikkoihin, joissa on tarve suojata kaapeleita normaalia suuremmalta rasitukselta, kuten matala-asennuksissa tai teiden poikituksissa. Pitkittäisiä avokanavia käytetään paljon rautateiden varsilla.

Suojaputkilla suojataan kaapeleita, mutta niillä myös mahdollistetaan kaapeleiden sijoittaminen maanalaisiin rakenteisiin jälkikäteen, ilman, että maan pintaa, päällysteitä, tie- ja katurakenteita tai ratapenkkäa tarvitsee rikkoa. Perinteisen 110 mm suojaputken ohella, tietoliikenneverkkoja rakentavat tahot ovat hyödyntäneet myös nk. mikrokanavatekniikkaa. Mikrokanaputket ovat halkaisijaltaan alle 20 mm putkia, putkipareja ja -nippuja, joihin voidaan "puhaltaa" mikrokaapelia jälkikäteen.

Kaapelikaivot mahdollistavat pääsyn maanalaisiin tai rakenteiden sisäisiin kaapelikanaviin. Kaapelikaivoihin voidaan myös sijoittaa kaapelijatkoja, joissa kaapeleita voidaan haaroittaa tai kaapelityyppiä voidaan tarvittaessa vaihtaa. Kaapelikaivot on valmistettu yleensä muovista tai betonista. Ne sijoitetaan maan alle nurmialueille, rata-alueille, sekä tie- ja katurakenteisiin.

2.4 Tietoliikenneinfran rakentuminen

2.4.1 Yhteisrakentamisen merkitys tietoliikenteen asentamiseen

Tietoliikenneinfran asentaminen on yleensä helpompaa ja edullisempaa, kun se tehdään muun rakentamisen yhteydessä. Arviolta 60–80 % valokuituverkon rakentamisen kokonaiskustannuksista syntyy maanrakennuskustannuksista. Loput kustannukset liittyvät laitteisiin, materiaaleihin ja liityntäpisteisiin. Kun tietoliikenneasennukset toteutetaan samalla kertaa muun rakentamisen yhteydessä, myös työnmaan haitat esimerkiksi liikenteelle häviävät, kun työmaata ei tarvitse pian avata uudestaan. Lisäksi toteutus yhdellä kertaa vähentää väylän-

rakenteisiin kohdistuvaa rakentamista, kun pinnoitteet ja rakenne pysyvät kunnossa sekä vaara rikkoa jo olemassa olevaa infraa kaivuutyön yhteydessä poistuu. Infran hoitaminen kerralla kuntoon parantaa myös turvallisuutta, sillä väylillä tehtävä työ vaatii aina liikenteenohjaamista ja lisää riskiä liikenneonnettomuuksille.

Kaikkeen ei aina voi varautua etukäteen, mutta pitkän aikavälin suunnitelmat ja yhteistyö eri tahojen kanssa auttavat paremmin ennustamaan tulevia tarpeita. Ennen ryhtymistä rakennushankkeisiin, on tarpeen selvittää kaikkien infrarakentamisessa olevien osapuolten mahdolliset tarpeet jo pelkästään kustannusten jakamisen vuoksi. Lisäksi yhteisrakentamisella työmaan valvonta voidaan hoitaa yhteisesti.

2.4.2 Ennakkorakentamisen merkitys tietoliikenteen asentamiseen

Mikäli muun rakentamisen yhteydessä on varauduttu suoja- tai mikroputkin tai kaapelikanavin tuleviin tietoliikennetarpeisiin, uusien kaapeleiden jälkiasennus helpottuu merkittävästi. Ennakkorakentamisen ansiosta voidaan kaapeleita asentaa putkeenvedolla, ja pitkiäkin matkoja saadaan rakennettua kohtuullisen nopeasti. Esimerkiksi mikroputkitusta hyödyntämällä voidaan rakentaa valokuitua useita kilometrejä päivässä, kun taas kaivamalla pystytään tyypillisesti rakentamaan maaperästä ja alueesta riippuen 100–300 metriä päivässä.

Tietoliikenne- ja rakentamisen edistämiseksi etenkin erityiskohteiden ennakkorakentamisella voidaan merkittävästi pienentää rakentamisen kustannuksia. Esimerkiksi sillat, väylien alitukset, pohjavesialueet ja maaperän laatu on tärkeää huomioida, jotta kustannuksia pystytään pienentämään merkittävästi jo etukäteen varautumalla. Teiden alituksia pystytään tekemään myös jälkikäteen paikoihin, esimerkiksi suuntaporaamalla, mutta se vaatii riittävän tilan porauslaitteistolle. Alitusten toteuttaminen jälkikäteen on myös suhteellisen kallista. Tien alitus suuntaporaamalla maksaa yli 100 €/m ja tunkkaamalla noin 60 €/m. Valokuituverkon rakentaminen putkitusta hyödyntämällä maksaa vertailun vuoksi noin 10 €/m. Suojaputkitus on hyvin kustannustehokas keino pienentää kustannuksia, sillä suojaputkien hinta on n. 1 €/m. Mikäli esimerkiksi tieliittymän alle on rakennettu valmis tien alitusputkitus ennakkoon, säästetään merkittävästi tulevissa kuluissa, asennustyössä ja rakentamisajassa.

Yksinkertaistettuna kaikki varautuminen tulevaan tietoliikenneverkon rakentamistyöhön on hyödyksi. Kustannustehokkuuden saamiseksi suojaputkitustarpeet ja sijoituspaikat kannattaa suunnitella riittävän aikaisin yhteistyössä operaattoreiden kanssa, jotta ennakkorakentaminen suunnitellaan myös yksityiskohtaisella tasolla oikein. Ennakkorakentamisen hyöty on nopeasti käytetty, jos suojaputkituksen käyttö edellyttää suuria mutkia kaapelilinjaukseen.

Jälkikäteen asentamisen tekniikoita ovat putkeenvedo halkaisijaltaan 110 mm suojaputkeen ja puhaltaminen mikrokanavaputkeen. Kaapeleita voidaan vetää olemassa oleviin suojaputkiin muutamasta metristä satojen metrien etäisyyksiin asti. Yhteen suojaputkeen voidaan sijoittaa yleensä 2–4 runkokaapelia. Useat kaapelit samassa putkessa tai kaapeleiden ulosotto putkesta kesken matkan ns. kylkiveto, hankaloittavat putkien käyttöä. Putkilinjan päähän tarvitaan kaapelikaivo tai erillinen vetomonttu putkeen vetämisen mahdollistamiseksi.

Puhaltaminen on mikrokanavaputkituksiin liittyvä asennustekniikka. Puhaltamisessa aiemmin asennettuun mikrokanavaan puhalletaan valokaapeli paineilman ja kaapelin työntölaitteen avulla. Huolellisesti ja oikein asennettuun mikrokanavaan puhaltaminen on nopeaa ja kaapelia voidaan puhalttaa useita satoja metrejä kerrallaan. Mikroputkikanava rakentamisen haasteena ovat liian jyrkkiin kulmiin asennetut mikrokanavat tai puutteellisen suojahiekan aiheuttamat putkien painumiset, jotka hidastavat puhaltamista.

2.4.3 Tietoliikenteen asentaminen ilman ennakkorakentamista

Ilman passiivien infran ennakkorakentamista jälkiasennuksen suurimmat kustannuserät syntyvät uusittavista pinnoitteista, kaivamisesta ja reiteillä esiintyvistä erityiskohteista. Tilanteessa, jossa jälkikäteen asentamiseen ei ole varauduttu, esim. suojaputkituksiin, nousevat rakentamisen kustannukset merkittävästi riippuen käytettävästä tekniikasta. Väyläympäristössä tietoliikennekaapelit pyritään asentamaan luiskaan huomioiden jo siellä olevat kaapelit. Jälkikäteen asentamisessa ja sen suunnittelussa saattaa vastaan tulla myös paikkoja, joista ei ole mahdollista rakentaa tai se aiheuttaisi kohtuuttomat kustannukset hyötyihin nähden. Näissä tapauksissa reittejä voidaan joutua muuttamaan.

Yleisin tapa sijoittaa maanalaista tietoliikenneinfraa on *kaivaminen*. Kaivaminen on kallista ja suhteellisen hidasta, mutta usein myös ainoa vaihtoehto sijoittaa kaapeleita tierakenteisiin. *Auraaminen* on asennustekniikka, jossa kaapeli-auralla tehdään maahan ura, jonka pohjalle kaapeli upotetaan. Auraus on perinteiseen kaivamiseen verrattuna taloudellisempaa ja nopeampaa, mutta auraaminen vaatii kivettömän, tasaisen ja kalliottoman maaston. Kallioiset tai kiviset kohdat reitillä saattavat aiheuttaa alkuperäiseen kaapelireittiin muutoksia sekä tarpeen kaivaa tietyt paikat perinteisellä kaivuulla. *Tunkkaus* on erityisesti teiden alituksiin soveltuva asennustekniikka, joka vaatii aloitus- sekä lopetuskaivannot tien alituksen molempiin päihin. Tunkkauksessa tunkkauskärki liikkuu iskevällä edestakaisella liikkeellä maa-aineksen läpi lopetuskaivantoon asti, minkä jälkeen reitti putkenvedolle on valmis. Tunkkauksen haasteena on kauko-ohjauksen puute, jolloin tunkkauskärki kääntyy helposti väärään suuntaan esimerkiksi kivien tai kallion vuoksi. *Suuntaporaus* on vaativiin alituksiin soveltuva asennustekniikka, jota voi käyttää paikoissa, joissa halutaan asentaa maanalaista infraa rikkomatta pintarakenteita. Suuntaporausella voidaan porata jopa useiden satojen metrien matkoja, joten se soveltuu myös esim. jokien ja vesistöjen alituksiin. Suuntaporausessa tangoista koostuvaa porausputki poraa halutun reiän. Tehtyä reikää laajennetaan avennusterällä, minkä yhteydessä myös suojaputki asennetaan. Suuntaporausessa porauskärki on kauko-ohjattavissa, mutta poravaunun suuren koon vuoksi se ei sovellu ahtaisiin paikkoihin. Mikro-ojitus on Suomessa suhteellisen uusi, pääosin kaupunkialueilla käytetty, asennustekniikka, jossa sahataan asfalttiin keskimäärin 30–40 cm syvyinen ura. Sahattuun uraan asennetaan mikroputki tai mikroputkipatteri, minkä jälkeen ura täytetään suojahiekalla ja bitumipohjaisella materiaalilla. *Mikro-ojitus* on suhteellisen edullista (n. 50 €/m) ja nopeaa (jopa 100–500 m päivässä). Mikro-ojituksen etuina ovat myös sahauslaitteen pieni tilantarve ja tämän myötä liikennejärjestelyjen väheneminen sekä päällystystöiden osuuden merkittävä väheneminen ja tätä kautta myös tietoliikenneverkon asennustöiden kustannusten pieneneminen.

3 Tietoliikenneyhteydet maanteiden pääväylillä

3.1 Toimintaympäristö

3.1.1 Tieliikenteen nykytila

Suomen tieverkko käsittää maantiet, kunnalliset katuverkot ja yksityistiet. Suomen koko tieverkon pituus on noin 454 000 kilometriä. Tästä yksityis- ja metsäautoteiden osuus on noin 350 000 kilometriä ja kuntien katuverkkojen 26 000 kilometriä. Väyläviraston vastuulla olevien maanteiden yhteispituus on noin 78 000 kilometriä.

Väylävirasto huolehtii valtion tieverkon ylläpidosta ja kehittämisestä yhdessä alueellisten ELY-keskusten kanssa. Väylävirasto on noin 400 hengen asiantuntijaorganisaatio, joka keskittyy tie-, rata- ja meriliikenteen väyläverkon suunnitteluun, kehittämiseen ja kunnossapitoon sekä liikenteen ja maankäytön yhteensovittamiseen. Väylä huolehtii liikenteen palvelutasosta ja edistää näin yhteiskunnan hyvinvointia ja elinkeinoelämän kilpailukykyä. Väyläviraston tehtävänä on vastata liikkumisen muutoksen synnyttämiin asiakastarpeisiin tehokkaasti ja vastuullisesti sekä tuottaa yhteiskunnalle kasvun alustaa toimivan ja turvallisen infran muodossa. Lisäksi Väylävirasto edistää infra-alan kehitystä ja vastuullista rakentamista. Väylävirasto huolehtii valtakunnallisen palvelutason toteutumisesta.

ELY-keskukset vastaavat Väyläviraston ohjaamina maantieliikenteen sujuvuudesta ja turvallisuudesta omilla alueillaan sekä edistävät tieliikenteen turvallisuutta ja sujuvuutta parantamalla maanteitä ja rakentamalla kävely- ja pyöräilyväyliä. ELY-keskukset vastaavat teiden alueellisesta kunnossapidosta sekä hoitavat maanteiden ja niihin liittyvien laitteiden ja varusteiden kunnossapidon. ELY-keskukset myöntävät liikenteeseen ja telekaapeleiden sijoittamiseen liittyviä lupia hallinnoimillaan teillä. ELY-keskukset osallistuvat liikennejärjestelmätöihin yhteistyössä kuntien ja maakuntien kanssa Joukkoliikenteen järjestämisessä ELY-keskuksilla on keskeinen rooli. ELY-keskusten tehtävänä on tuoda esiin valtakunnalliset linjaukset ja sovittaa niitä oman alueensa liikennejärjestelmän tarpeisiin. Päivittäisestä teiden kunnossapidosta sekä tarvittavista kunnossapito- ja rakentamistöistä huolehtivat kilpailutetut urakoitsijat.

Intelligent Traffic Management Finland Oy (ITM Finland) vastuulla taas ovat tieliikenteen hallinta Suomen maanteilla. ITM Finland tarjoaa ja kehittää palveluita, jotka osaltaan mahdollistavat turvallisen ja sujuvan liikenteen tieverkolla. Palveluihin kuuluvat mm. operatiivinen liikenteenhallinta tieliikennekeskuksissa, tietunneleiden teknisistä järjestelmistä ja maanteiden muuttuvista opasteista huolehtiminen, tiesääjärjestelmät sekä edellä mainittuihin liittyvät tietotekniset- ja tietoliikennetekniset palvelut. Näiden lisäksi ITM Finland tarjoaa avoimena datana kaikkien hyödynnettäväksi suuren määrän tieliikenteeseen liittyvää ajantasaista liikenne- ja olosuhdetietoa.

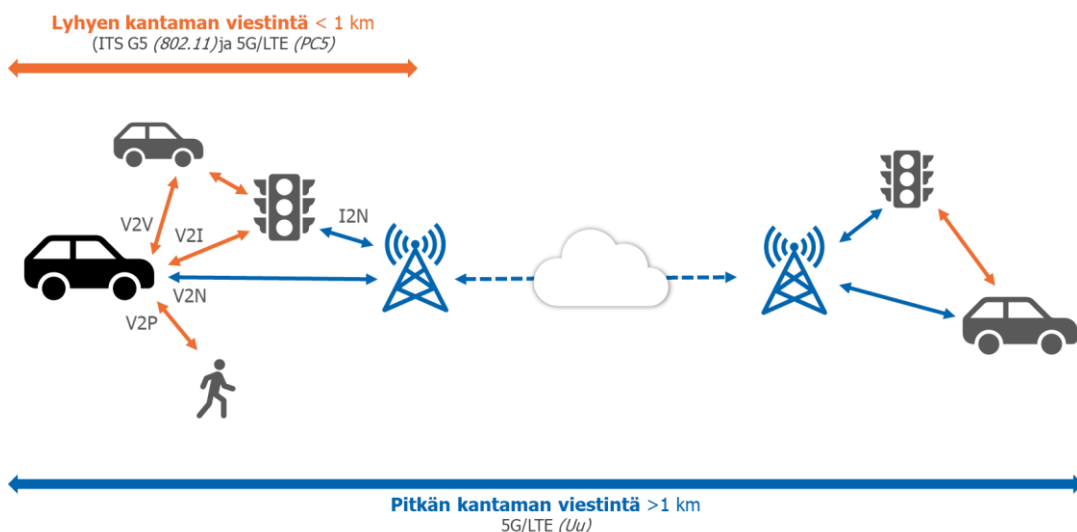
Vuoden 2019 alussa perustettu uusi Liikenne- ja viestintävirasto Traficom vastaa liikenteen luvista, pätevyyksistä, valvonnasta ja turvallisuudesta.

3.1.2 Tieliikenteen toimintaympäristön kehittymistrendit

3.1.1.1 Monipuolistuva kommunikaatio näyttää perustuvan hybridiratkaisuun

Tulevaisuudessa ajoneuvot ovat vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa. Keskeinen tulevaisuuden kehitysteema tieliikenteessä on tiedonvälityksen ja kommunikaation lisääntyminen, jonka myötä tarpeet tiedonsiirrolle ja tiedonsiirtoyhteyksien luotettavuudelle kasvavat. Jatkossa ajoneuvot vastaanottavat tietoa ympäristöstään sekä välittävät keräämäänsä tietoa muiden ajoneuvojen ja palveluiden hyödynnettäväksi. Ajoneuvojen välillä kulkeva tieto monipuolistuu ja tarve suurta kapasiteettia vaativalle tiedonsiirrolle kasvaa molempiin suuntiin (upload/download). Jatkossa tieliikenteen kommunikaatio tulee pohjautumaan todennäköisesti sekä lyhyen kantaman että pitkän kantaman tiedonvaihtoon (ns. hybridiratkaisu).

Lyhyen kantaman viestintä mahdollistaa viivekriittiset yhteydet ympäristöön. Lyhyen kantaman viestintä tapahtuu alle 1 kilometrin matkoilla ja se mahdollistaa erityisesti viivekriittisen kommunikoinnin. Lyhyen kantaman kommunikaatiossa ajoneuvot tai tienvarsilaitteet ovat yhteydessä ympäristöönsä ilman ulkoisen matkapuhelinverkon välitystä. Tämä mahdollistaa ajoneuvojen välisen kommunikaation myös matkapuhelinverkon katvealueilla. Ilman ulkopuolista matkapuhelinverkkoa tapahtuva viestintä lyhentää viivettä ja mahdollistaa suurten tietomäärän siirtämisen ajoneuvojen välillä ilman matkapuhelinverkon ruuhkautumista. Lyhyen kantaman viestinnän avulla ajoneuvot voivat vaihtaa keskenään (V2V - vehicle to vehicle) tietoja, jolloin esimerkiksi kaistanvaihdot tai moottoritille liittyminen muuttuu sujuvammaksi ja turvallisemmaksi. Ajoneuvot voivat vaihtaa keskenään tietoa esimerkiksi sijainnista, nopeudesta, aioituista ajolinjoista. Ajoneuvot voivat jatkossa kommunikoida myös tieliikenneinfraan (V2I - vehicle to infrastructure) kanssa, jolloin esimerkiksi liikennevalot voivat lähettää ajoneuvoihin tietoa liikennevalojen vaihtumisesta ajonopeuden optimoimiseksi. Vastaavasti ajoneuvot voivat olla yhteydessä muihin tiellä oleviin, kuten jalankulkijoihin, pyöräilijöihin, tietyöntekijöihin, (V2P - vehicle to pedestrian) ja saada näiltä esimerkiksi varoituksen äkillisestä liikkeestä.



Kuva 2. Tieliikenteen kommunikaatio jakaantuu suoraan lyhyen kantaman viestintään sekä mobiiliverkon kautta tapahtuvaan pitkän kantaman viestintään

Matkapuhelinverkon välityksellä tapahtuva pitkän matkan kommunikaatio mahdollistaa ei-viivekriittiset palvelut ja ulkopuolisen analytiikan hyödyntämisen. Pitkän matkan kommunikaatiossa ajoneuvot ottavat yhteyden kaukana oleviin kohteisiin erillisen tietoliikenneverkon (V2N - vehicle to network), kuten matkapuhelinverkon välityksellä. Pitkän matkan kommunikaatiolla ajoneuvoille voidaan välittää tietoa esimerkiksi reitillä olevista ruuhkista tai tietöistä. Pitkän matkaa viestintää voidaan hyödyntää esimerkiksi liikenteen optimoinnissa systeemiautomaation avulla (I2N2I). Tällöin liikennekamerasta ja muista sensoreista kerättävää tietoa tuodaan keskitettyyn pilvipalveluun analysoitavaksi. Analyysin pohjalta voidaan esimerkiksi muuttaa liikennevalojen ohjelmointia tai etuuksia liikenteen sujuvoittamiseksi. Pitkän matkan viestinnällä voidaan hyödyntää esim. reunalaskentaa suurta laskentatehoa vaativien toimitusten tekemiseen keskitetysti.

Palveluiden tekniset vaatimukset sekä tekniikan, liiketoimintamallien ja tietoliikenneyhteyksien kehittyminen määrittävät ajoneuvokommunikaation kehittymistä. Monet tietoliikenneyhteyksiä hyödyntävät palvelut ovat vielä kehitysteella. Samankaltaisia palveluja on toteutettu usein erilaisilla ratkaisulla ja tiedonsiirtovaatimukset ovat vielä auki. Tyypillisiä ratkaisuvaihtoehtoja on, että tieto on joko siirretty suoraan ajoneuvojen välillä tai vaihtoehtoisesti tieto on siirretty matkapuhelinverkon kautta. Palveluiden toteutustavasta riippuen tarvittava tieto voidaan lähettää suoraan vastaanottajalle raakadatana (esim. korkealaatuinen videokuva) tai kehittyneimmissä palveluissa vain olennainen tieto lähetetään käyttäjälle valmiiksi analysoituna aineistona. Etenkin analysoimattoman videokuvan ja muiden raaka-aineistojen lähettäminen sellaisenaan eri tahojen välillä edellyttäisi tiedonsiirtokapasiteetin moninkertaistamista nykyisestä. Ajoneuvojen ja sovellusten laskentatehon tekninen kehittyminen mahdollistaa, että kaikkea kerättävää tietoa ei tarvitse jatkossa siirtää verkkoon sellaisenaan tai välittömästi, vaan osa tiedosta voidaan käsitellä heti jo ajoneuvossa tai analysoida käyttäjän lähellä. Mitä nopeampaa analysointia ja pienempää viivettä edellytetään, sitä enemmän painetta on tuoda laskentateho keskitetyistä konesaleista lähemmäs verkon reunaa eli käyttäjän lähelle. Reunalaskenta voidaan käsittää laskentatehona, joka auttaa datan tallennuksessa, prosessoinnissa ja palvelun muodostamisessa datan lähteen ja käyttäjän välillä. Liikenteen näkökulmasta reunalaskenta voi olla esimerkiksi ajoneuvossa (OBU), tienvarressa (RSU) tai läheisellä serverillä. Sopivan ratkaisun löytäminen riippuu käytötapauksen todellisesta tarpeesta viiveelle ja laskentatehon vaatimukselle. Tämä vähentää turhan tiedon siirtoa, kun ainoastaan keskeisimmät tiedot voidaan toimittaa verkkoon. Analytiikan ja tallennuskapasiteetin kehittyminen RSU- ja OBU-tasoilla, keskeisen tiedon erottaminen suurista aineistoista sekä tiedon pakkaaminen voivat siten jatkossa vähentää todellisia tiedonsiirtotarpeita verrattuna kaikista suurimpiin arvioihin tieliikenteen tulevasta tiedonsiirtotarpeesta.

3.1.1.2 Tieliikenteen kommunikoinnin teknologiset suuntaviivat ovat auki

Tieliikenteen tietoliikenneyhteyksien keskeiset suuntaviivat ovat toistaiseksi auki. Liikenteelle on varattu lyhyen kantaman kommunikointia varten 5,9 Ghz:n taajuuskaista, joka nykyisen näkemyksen mukaan riittää liikenteen lähitulevaisuuden tarpeisiin. Tieliikenteessä tapahtuvaan kommunikointiin on tällä hetkellä olemassa kaksi osin kilpailevaa menetelmää; matkapuhelinverkkoa hyödyntävä Cellular-V2X (C-V2X) sekä WLAN-pohjainen ITS-G5. Eurooppalaisessa keskustelussa keskeinen kysymys on ollut, tulisiko teknologiamäärittelyn olla teknologianeutraali ja hyväksyä 5G yhdeksi kommunikointitavaksi älyliikenteessä ITS-G5 rinnalla. Euroopan Komissio on ajanut delegoidulla asetuksella ITS-G5 ainoaksi kommunikointitavaksi, mutta heinäkuussa 2019 Euroopan Neuvosto äänesti Komission asetusta vastaan. Jatkosta ei ole saatu toistaiseksi virallista tietoa jatkosta, mutta yhtenä vaihtoehtona on asetuksen avaaminen uudelleen.

C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything) on matkapuhelinverkkoa hyödyntävä kommunikointimenetelmä, joka soveltuu tieliikenteen turvallisuutta ja tehokkuutta lisääviin palveluihin. C-V2X perustuu kahteen viestintärajapintaan; lyhyen kantaman PC5-protokolla ja pitkän kantaman Uu-protokolla. PC5-protokolla mahdollistaa lyhyen kantaman (alle 1 km) viestinnän ajoneuvojen, tienvarsi-infrastruktuurin sekä jalankulkijoiden välillä. PC5 mahdollistaa kommunikoinnin myös silloin kun ulkopuolista mobiiliverkkoa ei ole saatavilla. Uu-protokolla mahdollistaa pitkän kantaman viestinnän matkapuhelinverkon välityksellä esim. ajoneuvojen ja pilvipalveluiden väliseen kommunikointiin. Uu:ta voidaan tulevaisuudessa käyttää pientä viivettä vaativissa palveluissa. Koska testiverkkoja lukuun ottamatta 5G-verkkoja ei vielä ole saatavilla, on tämän hetkinen kommunikointitapa nimetty usein LTE-V2X:ksi.

ITS-G5 (tunnetaan myös nimillä IEEE802.11p, WaVE, pWlan, DSRC) on langattomaan WiFi-standardiin perustuva lyhyen kantaman tiedonsiirtoon tarkoitettu teknologia ja protokolla. Teknologia mahdollistaa tiedonsiirron ajoneuvojen kesken (V2V) sekä ajoneuvojen ja infrastruktuurin (V2I) välillä. ITS-G5:n kantama vaihtelee nykyisellään maastosta riippuen 500 m ja 1 km välillä, jolloin ajoneuvo voi olla myös yhteydessä esim. erilaisiin tutkiin, kameroihin, tiesääasemiin tai tiessä oleviin sensoreihin. ITS-G5-teknologia mahdollistaa esimerkiksi ruuhkia, olosuhteita, säätä, turvallisuusviestejä ja onnettomuuksia koskevien tietojen jakamisen. ITS-G5 ei tue pitkän matkan kommunikointia, vaan pitkän matkan viestintä tulisi toteuttaa epäsuorasti infrastruktuurin (V2I) kautta tai erillisellä matkapuhelinverkolla. Tuotettu tieto on saatavilla vain paikallisesti eikä sitä koota keskitetysti mihinkään.

Tieliikenteen automatisoinnin tiedonsiirron kehitys on Euroopassa perustunut ITS-G5-standardiin ja se on ollut perinteisesti autoteollisuuden mielestä parhaiten sopiva tiedonsiirtoteknologia verkottuneisiin järjestelmiin ja automaattiajamisen turvallisuuteen. Viime aikoina useat autonvalmistajat (mm. Audi, BMW, Daimler, Volvo ja Ford) yhdessä telecom-sektorin kanssa ovat panostaneet myös LTE:n ja 5G:n hyödyntämiseen. 5G:n puolesta puhujien mielestä matkapuhelinverkkoa hyödyntävä C-V2X-teknologia on mm. monipuolisempi, tehokkaampi ja luotettavampi kuin WiFi-pohjainen ITS-G5. Näkemyseroissa on teknologisten kysymysten lisäksi kyse myös eri teknologioiden liiketoimintamahdollisuuksista. 5G:n hyödyntäminen edellyttää ajoneuvojen varustamista operaattoreiden SIM-korteilla, mikä luo operaattoreiden näkökulmasta mahdollistavan

mekanismin tarvittaviin verkkoinvestointeihin. ITS-G5 on ollut markkinoilla jo pidempään, mutta sen ympärille ei ole kehittynyt selkeitä liiketoimintamalleja eikä ITS-G5 edellyttämille tievarsi-infran investointeihin ole löytynyt yleistä halukkuutta.

3.1.1.3 C-ITS -palvelut määrittelevät tieliikenteen viestinnän perustason

C-ITS -palveluilla tarkoitetaan yhteistoiminnallista ajamista auttavia palveluja eli käytännössä tieto- ja viestintäteknologioiden soveltamista liikenteeseen. Euroopan Komissio on viime vuosina edistänyt älykkäiden ja yhteen toimivien liikennejärjestelmien kehittämistä mm. julkaisemalla oman strategiansa C-ITS palvelujen toteuttamiseksi. Komission strategiassa pyritään saamaan C-ITS-palvelut toteutukseen vuonna 2019, jolloin kaikissa uusissa tyyppihyväksytyissä autoissa tulisi olla C-ITS-tietoliikenteeseen kykenevä laite ja eri maissa tuotettujen palvelujen tulisi olla yhteentoimivia.

C-ITS-palveluiden oli aluksi ajateltu tapahtuvan lyhyen kantaman tiedonsiirtona, mutta myöhemmin on huomattu tarve pidemmän kantaman tiedonsiirrolle, erityisesti palveluissa, jotka eivät ole aika- ja turvallisuuskriittisiä. Komission ajamat palvelut toteutuvat todennäköisesti laajasti lähivuosina, mutta todennäköisesti paljon laajemmin matkapuhelinverkkoihin tukeutuvina kuin yhteistoiminnallisen ajamisen suunnitelmissa on alun perin ajateltu.

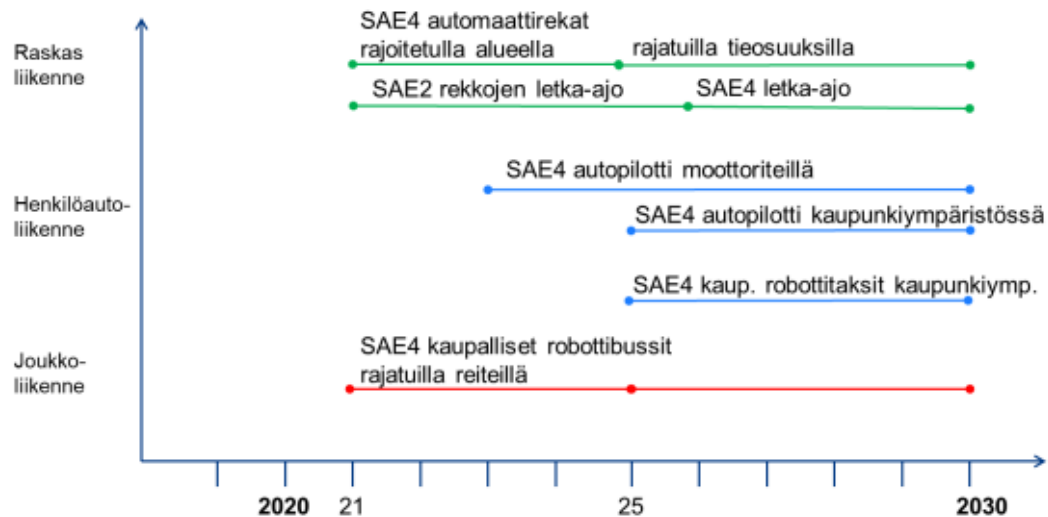
Strategia myös määrittelee C-ITS palvelut ja jakaa ne kahteen luokkaan; ensimmäiseksi toteutettavat standardoidut palvelut (ns. Day 1 -palvelut) ja seuraavaksi standardoitavat ja toteutettavat palvelut (Day 1.5 -palvelut).

V2I-sovellusten osalta tienpitäjien vastuulle kuuluu tietyn tienvarsi-infran varustaminen C-ITS-kyvykkyydellä sekä ko. laitteiden varustaminen soveltuvien tiedonsiirtoyhteyksin. Mikäli C-ITS:n standardoinnissa päädytään hyväksymään mobiilitiedonsiirron käyttö tiedonsiirtoyhteytenä (ns. hybridiratkaisu), voidaan V2I-sovellukset toteuttaa ainakin teknisesti V2N-yhteyksin. Suurin osa C-ITS käyttötapauksista on teknisesti mahdollista toteuttaa perustuen suoraan lyhyen kantaman kommunikaatioon (V2V ja V2I) tai vaihtoehtoisesti kommunikaatio voidaan toteuttaa verkon (V2N) välityksellä.

3.1.1.4 Autonomisen liikenteen kehitys määrittää tietoliikenne-yhteysvaatimukset

Ajoneuvojen eri automaatiotasosta käytetään usein standardointijärjestön (Society of Automotive Engineers, SAE) kuusiportaista luokittelua. Tasot 0 ja 1 ovat jo nykyisin käytössä olevia tasoja, jotka sisältävät mm. tekniikoita, kuten pysäköintiavustin, kaistavahti, mukautuva vakionopeuden säädin ja törmäysvaroitin. Tasot 2-3 ovat jo ylemmän tason automaatiojärjestelmiä, joissa kuski on edelleen tarpeellinen, mutta ohjauksen apuna on useita eriasteisia apukeinoja. Tasolla 4 automaation taso on hyvin korkea ja ajoneuvo pystyy toimimaan täysin itsenäisesti ennalta-arvattavissa olosuhteissa, mutta kuski voi ottaa tahtoeensa ajoneuvon hallintaansa. Tasolla 5 puhutaan täydestä automaatiosta, jolloin ajoneuvo pystyy toimimaan itsenäisesti kaikissa olosuhteissa.

Helsingin seudun pääväylien liikenteen hallinta 2030-raportissa on esitetty SAE4-tason sovellusten tulevan Suomen markkinoille 2020-luvulla. Sovellusten käyttöönoton on arvioitu tapahtuvan teknisesti tai maantieteeltään rajatuilla alueilla tai muuten olosuhteiltaan hallittavissa alueilla (kuten satamissa, terminaaleissa, tietyillä yhteysväleillä tai alueilla).



Kuva 3. Arvio automaattiajamisen sovellusten tulosta markkinoille
(Lähde: Helsingin seudun pääväylien liikenteen hallinta 2030)

Autonomisen liikenteen kehittäminen edellyttää sekä ajoneuvojen automaation parantumista että ajoneuvojen välisen vuorovaikutuksen parantumista. Ajoneuvojen automaatio asettaa suuria vaatimuksia tekoälyn kehitykselle ja tiedon käsittelylle.

Liikenteen autonomisuus näyttää edellyttävän jonkinlaisia tietoliikenneyhteyksiä, mutta todelliseen datan määrään liittyy suuria epävarmuuksia. Joidenkin arvioiden mukaan yhden auton siirtämä tietomäärä tulee olemaan tuhansia gigatavuja päivässä, jolloin yksi auto vastaisi tuhansien älypuhelimien päiväkäyttöä. Osa auton valmistajista ei jaa näkemystä vaan ovat sitä mieltä, että autojen autonomisuus pitää olla riittävä pärjäämään myös ilman tietoliikennettä. Joka tapauksessa automaattiajoneuvojen on pystyttävä keräämään itse ja välittämään tietoa toisille ajoneuvoille, liikenteen ohjaukselle, keskuspalvelemille sekä infrastruktuurin laitteille kuten esim. liikennevaloille.

Lopulta käytettävät sovellukset ja niiden tekniset vaatimukset määrittävät pääväylillä vaadittavat tiedonsiirto- ja latenssinopeudet. Esimerkiksi auton hätäjarrutus on siirrettävä millisekunneissa muihin ajoneuvoihin onnettomuuden välttämiseksi. Ajoneuvojen autonomisuudesta ja teknisestä kehityksestä viime kädessä riippuu, siirtykö tieto hätäjarrutuksesta tiedonsiirtona autojen välillä vai kehittyvätkö ajoneuvojen sisäiset kamerat, tutkat ja analytiikka niin paljon, että ulkopuolelta tulevaa tiedonsiirtoa ei välttämättä edellytetä.

3.1.3 Maantieympäristön asettamat haasteet digitaalisen infran rakentumiselle

Tietoliikenteen rakentamisen ja 5G-yhteyksien toteuttamisen näkökulmasta maanteiden pääväylät ovat hyvin omanlaisensa toimintaympäristö verrattuna esimerkiksi kaupunkialueisiin. Tietoliikenteen edistämisen ja ohjausmahdollisuuksien näkökulmasta myös Väyläviraston rooli on hyvin erilainen kuin kaupungeilla.

Pääväylillä rakennuksia ja rakennelmia on vähemmän, joten mobiiliverkon tukiasemia ei voi samalla tavalla sijoittaa rakennusten katoille, vaan niitä varten tulee usein pystyttää omia tukipylväitä tai -mastoja. Tukiasemien sijoittamisen ja mastopaikkojen osalta kaupungit vastaavat luvituksesta ja joutuvat rakennusmääräysten myötä ottamaan kantaa rakennusten riittävien valmiuksien toteuttamiseen. Katualueella kaupungit vastaavat sijoitusluvituksesta ja pyrkivät edistämään yhteisrakentamista katutyöhaittojen vähentämiseksi ja katujen kunnon rapautumisen välttämiseksi. Pääväylien tarvitsemat mastopaikat ja kuituyhteydet eivät välttämättä sijaitse Väyläviraston alueella, joten Väyläviraston vaikutusmahdollisuudet ovat pienemmät, sillä se vastaa ainoastaan tiealueesta.

Maanteiden pääväylät sijaitsevat pääosin alueella, joilla ei ole asutusta ja tiivistä rakentamista aivan väyläalueen välittömässä läheisyydessä, joten kaapeleita ei kannata sijoittaa tien alle, kuten kaupungeissa. Kaapeleiden sijoittaminen tien sivuun tekee tietoliikenteen rakentamisesta nopeampaa ja edullisempaa pääväylillä, kun tierakennetta ei tarvitse rikkoa ja kattaa päällysteen uusimisen kustannuksia. Maanteillä pituussuuntaisia yhteyksiä varten tehtävällä suojaputkituksella ei ole niin tärkeää roolia kuin kaupungeissa, jossa kalliin rakentamiseksi lisäksi katujen alla on yleensä ylipäänsä vain vähän tilaa uusille putkille. Usein voi olla edullisempaa rakentaa tien sivuun kuin hyödyntää suojaputkia, jotka on toteutettu, ylläpidetty ja dokumentoitu heikosti.

Maantieympäristössä kestohaasteena on olemassa oleviin kaapeleihin ja passiivi-infraan liittyvän tiedon puute. ELY-keskusten on ollut haastavaa saada tietoa kaapeleiden omistajista, jolloin yhteistyömenettelyt ovat olleet hankalia toteuttaa esim. johtosiirtojen yhteydessä. Omistajuuden lisäksi haasteena on tarkan sijainnin puuttuminen, sillä kaapeleiden tarkkaa sijaintia ei ole dokumentoitu ja kaapelit on saatettu toteuttaa vastoin annettuja ohjeistuksia. Tällöin parannustoimenpiteiden yhteydessä on riski kaapeleiden tahattomalle katkaisemiselle. Kaapelitiedon puuttumisen lisäksi haasteena on myös tehtyjen olemassa olevan passiivi-infran huono dokumentaatio, jolloin esimerkiksi olemassa olevien suojaputkitusten tiedot eivät ole aina operaattoreiden hyödynnettävissä.

Uusien tukiasemien rakentamisen näkökulmasta maanteiden pääväylien haasteena on pitkät etäisyydet ja suhteellisen vähäiset käyttäjämäärät, mikä väistämättä tekee yksittäisten tukiasemien toteuttamisesta kallista. Nykyiset tukiasemat ovat sijoittuneet pääosin taajamien läheisyyteen, joten kattavan mobiiliverkon toteuttamiseksi tarve uusille tukiasemille syntyy todennäköisesti sellaisiin kohtiin, jossa ympäröivää asutusta on vähän. Uusien tukiasemien toteuttaminen edellyttäisi todennäköisesti, että kuitu- ja sähköyhteydet joudutaan toteuttamaan suhteellisen kaukaa, jolloin rakentamiskustannukset nousevat. Koska asutusta on vähän ympärillä, uudet tukiasemat palvelisivat pääosin tieliikennettä. Väylällä pitäisi olla riittävät liikennemäärät, jotta uusien tukiasemien toteuttaminen olisi kannattavaa. Tietoliikenneoperaattorit tarvitsevat uusia käyt-

tötapauksia ja palveluita sekä niitä tukevia uusia ansaintamalleja, joilla investointi voidaan kattaa. Toistaiseksi operaattoreiden haasteena on, että tieliikenteessä ei ole erillistä ansaintalogiikkaa, vaan ansainta tapahtuu tienkäyttäjien mobiiliverkon palveluiden kautta.

3.2 Tietoliikenneyhteydet maantieympäristössä

3.2.1 Tietoliikenneyhteyksien omistus ja hallinta maantieympäristössä

Maanteiden tietoliikenneyhteydet voidaan jakaa kahteen osaan; tienkäyttäjien tarvitsemiin tietoliikenneyhteyksiin ja liikenteen ohjauksen tarvitsemiin tietoliikenneyhteyksiin. Näihin hyödynnetään nykyisin kiinteitä yhteyksiä ja mobiiliyhteyksiä.

Maantieliikenteessä kiinteitä yhteyksiä hyödynnetään pääosin liikenteen ohjauksen turvallisuuskriittisiin toimintoihin, kuten tunnelivalvontaan ja -ohjaukseen, liikenteen estolaitteisiin sekä muuttuviin nopeusrajoituksiin. Mobiiliyhteyksiä hyödynnetään puolestaan ei-kriittisiin liikenteen ohjaukseen tarpeisiin, kuten tiedostusopasteisiin, havainnointilaitteisiin ja kaistojen välisiin puomeihin sekä tienkäyttäjien ja urakoitsijoiden tiedonsiirtoon. Mobiiliyhteydet tuottavat pääosin kaupalliset palveluntarjoajat (Elisa, DNA ja Telia) sekä Erillisverkot Oy, joka tuottaa viranomaisverkko Virveä.

Telekaapeleiden keskeisiä omistajia maanteilla ovat kaupalliset toimijat kuten Elisa, Telia, DNA. Lisäksi tiealueilla toimii valtio-omisteinen Cinia sekä pienempiä alueellisia toimijoita kuten BLC, MPY, TDC, alueelliset puhelinyhtiöt sekä Finnet-yhtiöt. Projektin haastatteluiden perusteella operaattoreiden valokuidun runkokaapelitilanne pääväylillä on yleisesti ottaen hyvä pohjoisimpia alueita lukuun ottamatta.

Liikenteenohjauskeskusten yhtiöittämisen myötä kaikki tieliikenteen liikenteen ohjauksen tietoliikenneinfra siirtyi ITMF:lle, joten Väylävirasto ei enää omista tai hallinnoi tieliikenteessä käytettyjä tietoliikenneyhteyksiä. ITMF:n omistukseen kuuluvat telekaapelit, teletilat, laitekeskukset sekä erilaiset liikenteen ohjauksen päätelaitteet (kamerat, sensorit, LAM-silmukat, ohjauslaitteet). Kattavaa kuituverkkoa ITMF:llä ei ole, vaan tarvittavat tietoliikenneyhteydet on tarvittavin osin vuokrattu muilta toimijoilta.

Myös kaupungeilla on kiinteitä yhteyksiä maanteilla tai näiden läheisyydessä, joita ne käyttävät mm. liikennevaloja ja muuta liikenteen ohjausta varten. Liikennevalojen käyttämät kiinteät yhteydet ovat osin kuntien omistamia ja osin operaattoreilta hankittuja. Tulevaisuudessa liikenteen operoinnissa saatetaan nähdä myös langattomia yhteyksiä.

Maantieliikenteessä hyödynnettävä valtion sähköverkon omistus on jakaantunut ITMF:n ja Väyläviraston välillä. Väyläviraston omistuksessa on pääosin tievalaistuksen hyödyntämä sähköverkko. ITMF:llä omistuksessa on älyvalaistuksen tarpeisiin ja liikenteen ohjaukseen käytettävä sähköverkko, minkä lisäksi se pääosin hyödyntää muiden omistuksessa olevia sähköverkkoja.

Maantieympäristön haasteena on, että telekaapeleiden ja sähköverkkojen tarkasta sijainnista ja niiden omistajuudesta ei ole aina tarkkaa yhteistä tietoa.

Maanteillä urakoitsijat eivät aina noudata tehtyä ohjeistusta, vaan kaapelit sijoitetaan välillä eri paikkaan kun sovittu. Myöskään sijoituksen jälkeistä dokumentointia ei systemaattisesti tehdä.

Passiivisen tietoliikenneinfran osalta (suojaputket ja jakokaivot) omistus- ja hallintatilanne Väyläviraston ja ITMF välillä on osin epäselvä. Hallintavastuut vaihtelevat tapauskohtaisesti, eikä tarkkaa jakoa ja omaisuuden dokumentointia ole tehty. On nähty, että putken omistus voisi siirtyä selkeämmin infran omistajalle, vaikka sen on ollut vaikeaa nähdä putkitukseen liittyviä hyötyjä.

3.2.2 Maantieliikenteen tietoliikenneyhteyksien käyttö ja kehitystarpeet

3.2.1.1 Tienkäyttäjät

Tienkäyttäjät ovat keskeisiä mobiiliyhteyksien hyödyntäjiä nykyisin. Tienkäyttäjät hyödyntävät nykyisellään kaupallisten operattoreiden tietoliikenneyhteyksiä pääasiassa navigointiin ja viihdekäyttöön. Tulevaisuudessa erityisesti viihdekäytön tarpeiden on nähty kasvavan. Osa uusimmista ajoneuvoista hyödyntää jo suoraan mobiiliyhteyksiä.

3.2.1.2 Ammattiliikenne

Ammattiliikenteessä erilaiset reitin reaaliaikaisen optimoinnin, kaluston seurannan ja ajotavan optimoinnin palveluiden on nähty yleistyvän. Lisäksi erilaisten ajoneuvojen automaation ja autonomisen liikenteen palveluiden (esim. letka-ajo ja etäohjaus) on nähty kehittyvän ensimmäisenä juuri ammattiliikenteestä.

3.2.1.3 Väyläviranomaiset

Väyläviranomaisilla ei ole tieliikenteessä omia tietoliikenneyhteyksiä, vaan ne hyödyntävät pääosin kaupallisten operaattoreiden tuottamia tietoliikenneyhteyksiä väylien ja taitorakenteiden rakentamisessa ja ylläpidossa. Rakentamisessa tietoliikenneyhteyksiä hyödynnetään pysyvillä työmailla sekä liikkuvilla työmailla, joilla on hieman omat tarpeensa. Pysyvillä tietyömailla, kuten suurimmissa väylähankkeissa tai yksittäisissä sillankorjaushankkeissa, tyypillisiä haasteita ovat usein tietoliikenteen kapasiteetin riittävyys sekä kuuluvuushaasteet taajamien ulkopuolella. Riittävän kuuluvuuden takaamiseksi urakoitsijat ovat toteuttaneet lisäantenneja työmaille. Tulevaisuudessa työmaiden keskeiset tiedonsiirtotarpeet liittyvät yhä enemmän mallipohjaiseen toteutukseen, koneohjaukseen, liikkuvan kuvan siirtoon sekä tarkan sijaintitiedon vaatimuksiin. Rakentamisen automaation rinnalla on nähtävissä mahdollisuuksia työmaiden reaaliaikaisuuden lisäämiseen esimerkiksi kameroin ja sensorein sekä toisaalta reaaliaikaisempaan tiedonvaihtoon suunnittelijoiden ja työmaan välillä. Reaaliaikainen seuranta mahdollistaa myös urakoitsijoiden sopimusvelvoitteiden seuraamisen (esim. työnaikaiset liikennemerkit ja nopeusrajoitukset, tietyövaroitukset) sekä turvallisuusmääräysten noudattamisen valvonnan. Reaaliaikaisuudella voidaan myös parantaa liikenteenohjauksen tilannekuvaa, väliaikaisia liikennejärjestelyjä sekä tietyömaiden turvallisuutta, kun lähestyviä ajoneuvoja voidaan varoittaa tietyömaista, väliaikaisista liikennejärjestelyistä ja tietyöissä olevista henkilöistä. Liikkuvilla työmailla on tulevaisuudessa tarvetta parantaa työn tarkkuustasoa ja todentaa rakennettua ("as build"-dokumentaatio) esimerkiksi päällystys- ja kaapeliurakoissa.

Ylläpidon näkökulmasta yleisin käytötapaus tietoliikenneyhteyksille on hoidon seuranta- ja toimenpidetiedon kerääminen, esimerkiksi talvikunnossapidosta. Tietoliikenneyhteyksien näkökulmasta 4G-yhteydet ovat riittäviä, mutta haasteena on enemmän yksittäiset katvealueet. Lisäksi myös ylläpidossa on tarve digitaalisten aineistojen hyödyntämiseen kentällä. Yksi tulevaisuuden kehityspotentiaali liittyy sensorointiin ja kamerakuvan analysointiin, joiden avulla omaisuuden kuntoa ja olosuhdetietojen voidaan selvittää entistä laajemmin ja edullisemmin. Tietoa voidaan hyödyntää mm. urakoitsijoiden automaattisen työohjauksen kehittämiseen. Suurin osa tarpeista voidaan toteuttaa jo nykyisin tai markkinaehtoisesti kehittyvin yhteyksin.

3.2.1.4 Tieliikenteenohjaus

Liikenteenohjauksen tarpeet voidaan jakaa kahteen osaan: kriittisiin yhteyksiin ja ei-kriittisiin yhteyksiin. Kriittisiä yhteyksiä, jotka vaativat kiinteitä ja luotettavia tietoliikenneyhteyksiä ovat mm. silmukkaohjaus, muuttuvat nopeusrajoitukset, liikenteen estolaitteet sekä liikenteen hallinnan tarpeet, kuten tunnelien valvonta ja etäohjaus. Ei-kriittisiä tarpeita, jotka voidaan toteuttaa mahdollisesti myös mobiilisti, ovat mm. tiedostusopasteet, kaistojen väliset puomit ja havainnointilaitteet, kuten kamerat ja sensorit. ITMF hyödyntää nykyisin pääosin kiinteitä tietoliikenneyhteyksiä, joita se täydentää operaattoreilta hankituilla yhteyksillä.

Tieliikenteen ohjauksen näkökulmasta tietoliikenneyhteyksien nykytilanne on yleisesti ottaen hyvä suhteessa nykyisten ja tulevaisuuden palveluiden tunnistettuihin tarpeisiin. Tieliikenteen ohjauksen näkökulmasta keskeinen vaatimus tietoliikenneyhteyksille on yhteyksien toimintavarmuus, josta johtuen suurin osa yhteyksistä on toteutettu perustuen kiinteisiin yhteyksiin. Tiedonsiirtomäärät itsessään eivät ole suuria lukuun ottamatta kameravalvontaa eikä ehdottomia vaatimuksia hyvin pienelle viiveelle ei tunnistettu. Teknisessä mielessä monet tarpeista on mahdollista toteuttaa nykyisin 4G- ja IoT-verkoin.

Tulevaisuuden keskeiset tunnistetut kehittämistarpeet kohdistuvat pääosin tiedonkeruun lisäämiseen, erityisesti tieverkon turvallisuuskriittisiltä, ruuhkaisilta ja liikenteen sujuvuuden kannalta keskeisiltä tieosuuksilta. Suunnitellut toimenpiteet liittyvät tiesääsemaverkoston laajentamiseen täydentämällä nykyistä verkkoa sekä vaihtuvien nopeusrajoitusten ja kelikameroiden lisäämiseen. Nämä tarpeet voidaan toteuttaa kiintein tai mobiiliyhteyksin, mutta tietoliikenneyhteyksien lisäksi ne tarvitsevat sähkönsyöttöä, jolloin kuituyhteyden toteuttaminen sähköyhteyden kanssa on usein varteenotettava vaihtoehto.

Liikenteen kommunikoinnin ja automatisoinnin kehittyessä myös liikenteen ohjauksen rooli on murroksessa. Yhdeksi keskeiseksi muutoksen ajuriksi on tunnistettu tiedonkeruun ja tiedon hyödyntämisen muuttuminen. Jo nykyisin ajoneuvot keräävät mm. olosuhde- ja liikennöintitietoa, jota ne välittävät autonvalmistajien ja muiden palveluntuottajien järjestelmiin. Kootuista pilvipalveluista voidaan tuottaa tienkäyttäjille ilmoituksia ruuhkista, ehdotuksia vaihtoehtoisista reiteistä sekä varoituksia tienkäyttäjille esimerkiksi tien liukkaudesta. Autonvalmistajat ja muut palveluntuottajat ovat toteuttaneet osin ohi viranomaisten järjestelmien. Kehityspolku haastaa perinteistä näkemystä tarpeesta uusille yksittäisille viranomaisten havainnointipisteille, jos ajoneuvot keräävät tulevaisuudessa jatkuvaa tietoa väyläympäristöstä ja välittävät sitä muille tienkäyttäjille ilman viranomaista.

Jatkossa autonvalmistajat, operaattorit ja uudet toimijat ovat kiinnostuneita tarjoamaan kokonaispalveluita tienkäyttäjille, jolloin osa ajoon liittyvistä päätöksistä siirtyy pois autosta, mikä edellyttää myös liikenteen ohjaukselta erilaista näkökulmaa liikenteen ohjaukseen. Perinteisen infranomistajan ja liikenteen ohjauksen rooli sekä tarpeet tietoliikenneyhteyksille ovat murroksessa, jos uudet tiedot ja palvelut muodostuvat jatkossa yhä useammin "ohi" viranomaisten. On nähtävissä, että jatkossakin liikenteen ohjauksessa tulee olemaan tarvetta infran kriittisten kohteiden fyysiseen operointiin (esim. tunneliympäristöt), vaikka jatkossa monet liikenteen esto- ja rajoitustoiminnoistakin on teknisesti mahdollisuus digitalisoida.

3.2.1.5 Tulevaisuuden tieliikenteen käyttötapauksia

Tieliikenteen nähdään kehittyvän lähitulevaisuudessa liikenteen automaation myötä. Automatisaation kehittymiseen liittyvät tiedonsiirtotarpeet luovat vaatimukset tietoliikenneyhteyksien kehittymiselle samalla kun saatavilla olevat tietoliikenneyhteydet määrittävät, mille tasolle palveluita on pystyttävä kehittämään niiden yleistymiseksi. Tulevaisuuden uusien käyttötapauksien käyttöönotto on siten riippuvainen tietoliikenneyhteyksien saatavuudesta sekä palveluiden ja tekniikan kehittämisestä.

Tulevaisuuden käyttötapauksiin liittyvä ajoneuvojen kommunikaatio näyttää kohdistuvan ensisijaisesti viivekriittiseen lyhyen matkan kommunikointiin ja vasta toissijaisesti verkon kauttatapahtuvaan ei-viive kriittiseen kommunikointiin. Poikkeuksena on ajoneuvojen etäohjaus, joka edellyttää luotettavia ja nopeita mobiiliverkkoyhteyksiä. Käyttötapauksen suurimmat tiedonsiirtotarpeet näyttävät kohdistuvan videokuvan välittämiseen eri toimintojen välillä. Useiden käyttötapauksen kohdalla voidaan tarvittavaa tiedonsiirtokapasiteettia pienentää, vähentämällä suurten tietomäärien (kuten raakavideokuvan) siirtämistä ja kehittämällä tiedon prosessointia. Tällä hetkellä monien käyttötapauksen yleistymisen haasteet ovat ensisijaisesti palveluarkkitehtuurin ja tekniikan kehittämisessä ja palveluiden kaupallistamisessa kuin tiedonsiirtonopeuksien riittämättömyydessä. Monet palvelut, kuten etäohjaus ja letka-ajo, on mahdollista toteuttaa jo nykyisillä 4G-yhteyksillä. Alla olevaan taulukkoon on tunnistettu eräitä tulevaisuuden käyttötapauksia sekä arvioita niiden vaatimuksista tietoliikenneyhteyksille. Taulukko on koottu soveltaen 3GPP:n ja 5GAA:n materiaaleja.

Taulukko 1. Eräitä tieliikenteen tulevia käyttötapauksia ja arvioita tietoliikennevaatimuksista (Lähde: soveltaen 3GPP ja 5GAA)

	Kommuni- kaatio	Tiedon- siirtotarve	La- tenssi (ms)	Palvelun luotetta- vuus- vaatimus	Paikan- nus (m)	Vies- tintä etäisyys
Ajoneuvon ohjauksen tuki	V2V/V2N/V2I	1,28 Mbit/s	30	> 99,9 %		350 m
"SeeThrough"-palvelu	V2V	5-15 Mbit/s	50	> 99,9 %	1,5	lyhyt
Letka-ajo	V2V	0,5-150 Mbit/s	10	> 99,9 %	-	100m
Automatisoitu ajaminen	V2V/V2N/V2I	10-500 Mbit/s	10	> 99,9 %	-	-
Ajoneuvojen ulkopuolisten sensoreiden hyödyntäminen ja yhteishavainnointi	V2V/V2N/V2I	0,1-2000 Mbit/s	3-100	> 99,9 %	0,1	-
Ajoneuvojen etäohjaus	V2N	5-30 Mbit/s (upload)	20	> 99,9 %		-
Ajoneuvojen etämonito- rointi	V2N	< 1KB / viesti	< 30 sec	> 99,9 %	1,5	-
Ajoneuvojen väliset va- roitukset	V2V	< 1 KB / viesti	10-400	> 99 %	1,5	-
Yleisvaroitukset (häiriöt, varoitukset)	V2N / V2I	< 1 KB / viesti	1000 - 2000 ms	50-90 %	20	-
Ajoneuvojen ohjelmisto- päivitykset	V2N	1.5 GB / päivi- tys	-	> 99 %	30	-
HD-kartat	V2N	3 Mbit/s	30 ms	> 99 %	-	kilomet- reja

Ohjauksen tuki -palveluihin kuuluvat mm. kaistanvaihdon ja väylälle liittymisen tuki, yhteistoiminnallinen törmäyksen esto, sekä erilaisten nopeus-, suunta- ja ohitustietojen jakaminen ajoneuvojen välillä. Tiedonsiirto on pääosin yksittäisiä viestejä.

See Through -palvelu mahdollistaa, että takana ajavaan ajoneuvoon lähetetään edellä olevan auton näkymää. Suurin osa tiedonsiirtokapasiteetista aiheutuu kuvan välittämisestä suoratoistovideona takana olevalle ajoneuvolle reaaliajassa. Tiedonsiirtotarvetta on mahdollisuus pienentää merkittävästi, mikäli tiedot vaaratilanteista tai ohitusmahdollisuuksista voidaan lähettää takana olevaan autoon ilman kuvayhteyttä.

Letka-ajo (platooning) mahdollistaa kahden tai useamman ajoneuvon ajamisen lähellä toisiaan. Ajoneuvojen välillä tarvitaan tiedonsiirtoa nopeuden muutoksista, etäisyydestä sekä liittymisestä ja poistumisesta letka-ajoon. Ajoneuvojen välisen tiedonsiirtoyhteyden tulee olla jatkuva ja luotettava mutta tiedonsiirtotarve ei välttämättä itsessään ole suuri.

Automatisoitu ajaminen käsittää laajasti erilaisia ominaisuuksia, joilla autot pysyvät liikkumaan ilman kuljettajan apua. Automaattiajamisen taso määrittää merkittävästi tiedonsiirtovaatimukset, sillä vaikuttaa, että täysin itsenäisesti liikkuva ajoneuvo voi vaatia moninkertaisen tiedonsiirron verrattuna lähes automatisoituun ajoneuvoon, vaikka keskeiset siirrettävät tiedot ovat yleisellä tasolla vastaavat.

Ajoneuvojen ulkopuolisten sensoreiden hyödyntäminen ja yhteishavainnointi
Palvelussa ajoneuvo hyödyntää muiden ajoneuvojen sekä muiden toimijoiden keräämää sensoridataa (esim. kamerat, tutkat) muodostaakseen kuvan ympäristöstään. Ulkopuolisista lähteistä kerättävän tilannekuvan avulla ajoneuvo voi varautua esimerkiksi näköesteen takaa tuleviin toisiin ajoneuvoihin tai onnettomuuteen kulman takana.

Ajoneuvojen etämonitorointi mahdollistaa seurata etänä esimerkiksi ajoneuvokaluston käyttöä, kulumista, sijaintia ja huoltotarvetta kaluston tehokkaamaksi operoinniksi. Etämonitorointi perustuu yksittäisiin tietoihin, joita lähetetään tietyin väliajoin tai häiriötilanteessa. Kerralla lähetettävät tietomäärät ovat usein pieniä.

Ajoneuvojen etäohjaus perustuu usein jatkuvaan yhteyteen ajoneuvon ja etäohjauspaikan välillä. Tiedontarve aiheutuu pääosin ajoneuvon ympäristöstä lähetettävästä reaaliaikaisesta kuvasta sekä ajoneuvolle lähetettävistä ohjauskomennoina. Ohjauksessa tarvittavan videokuva eli tarvittavien kameroiden määrä ja videon laatu määrittävät tiedonsiirtotarpeen.

Ajoneuvojen väliset varoitukset ja yleisvaroitukset pitävät sisällään varoituksia muiden ajoneuvojen hätäjarrutuksista, kaistanvaihtoista ja nopeuden muutoksista sekä varoituksia ruuhkista, vaarallisista paikoista ja muista tienkäyttäjistä. Varoitukset ovat usein yksittäisiä tiiviissä muodossa olevia viestejä eivätkä vaadi jatkuvaa tai suurta tiedonsiirtoa.

Ajoneuvojen ohjelmistopäivitykset ovat ajoneuvovalmistajan säännöllisin väliajoin lähettämiä päivityksiä ajoneuvon ohjelmistoihin, jotta ajoneuvo pysyy ajettavassa kunnossa. Ohjelmistopäivitykset voivat sisältää hyvin suuria tiedostoja, mutta lataus voi tapahtua pidemmän ajanjakson aikana, joten välttämättä suurta tiedonsiirtokapasiteettia ei tarvita.

HD-kartat tarjoavat tilannetietoa automaattiajoneuvoille kriittisistä ja muuttuvista tieolosuhteista. Todennäköisesti suurin osa karttadatasta ladataan ajoneuvoon ennen ajoa, jolloin ajon aikana päivitetään tietoja vain muuttuvista olosuhteista. Jatkuvasti päivittyvä sisältö määrittää tarvittavan tiedonsiirtokapasiteettiin.

4 Tietoliikenneyhteydet rautateiden pääväylillä

4.1 Toimintaympäristö

4.1.1 Rautatieliikenteen nykytila

Vuonna 2018 rautatieliikenteessä tehtiin noin 87,5 miljoonaa henkilöliikenteen matkaa ja trendi on ollut nouseva vuodesta 1990. Trendi on ollut myös nouseva tavaraliikenteessä, jossa vuonna 2018 rautateillä liikkui yhteensä 40 miljoonaa tonnia. Pitkällä aikavälillä on odotettavissa, että rautatieliikenteen liikennemäärät ovat kasvavia. Liikenteessä kehitystä tukevat ilmastonmuutokseen liittyvät kiristyvät energiansäästö- ja energiatehokkuustavoitteet, rautatieliikenteen houkuttelevuuden parantuminen palvelujen laadun ja hintakehityksen myötä sekä yhdyskunta- ja väestörakenteen muutokset. Tuleville vuosille on suunnitteilla uusia ratahankkeita, jotka parantavat raideliikenteen toimintaedellytyksiä ja houkuttelevuutta entisestään.

Rautatieliikenteeseen kohdistuu tulevana vuosina muutospaineita, joilla on osin vaikutusta myös tietoliikenneyhteyksien kehittämistarpeisiin. Rautatieliikenteen kilpailun avautuminen tuo radoille uusia toimijoita, joiden tarpeet tulee ottaa huomioon tietoliikenneyhteyksien kehittämisessä. Kilpailu muiden kulku- ja kuljetusmuotojen kanssa muuttaa rautatieliikenteen roolia mutta toisaalta myös avaa uusia yhteistyömahdollisuuksia saumattomien kuljetusketjujen muodostamiseksi henkilö- ja tavaraliikenteessä. Rautateiden rooli elinkeinoelämän kuljetuksissa on ollut perinteisesti vahva johtuen Suomen pitkistä välimatkoista ja teollisuuden rakenteesta. Muutokset teollisuustuotannossa ja elinkeinorakenteessa yhdessä kaupungistumisen kanssa voivat keskittää kuljetuksia ja henkilöiden liikkumisesta yhä enemmän tietyille yhteysväleille.

Rataverkon näkökulmasta tietoliikenneyhteydet tuovat mahdollisuuksia. Suomen rataverkon keskeisiä ominaispiirteitä on rataverkon yksiraiteisuus (n. 90 %), mikä aiheuttaa erityistarpeita rautatieliikenteen ohjaukselle ja hallinnalle. Lisäksi talviolosuhteet vaikuttavat liikennöintiin, ohjaukseen sekä rataverkon kunnossapitoon. Liikenteenohjauksen näkökulmasta riittävien tietoliikenneyhteyksien tulee kattaa koko rataverkko, jolloin vähemmän liikennöidyille rataosuuksille on tarpeen löytää kustannustehokkaita tietoliikenneneratkaisuja.

Rautatieliikenteen tietoliikenneyhteyksien keskeisiä hyödyntäjiä ovat tällä hetkellä Väylävirasto, Finrail, rautatieliikenteen harjoittajat, matkustajat ja rautatiealueella toimivat urakoitsijat. Väylävirasto vastaa rataverkosta, rataverkon kunnossapidosta ja laiturialueista. Väyläviraston vastuulla on rataliikenteen keskeiset tietoliikennejärjestelmät, kuten junien kulunvalvonnan (JKV) ja turvalaitteiden järjestelmät. Liikenteenohjausyhtiö Finrail vastaa liikenteenohjauksen järjestelmästä, liikenteen ohjauksen palveluista, liikennesuunnittelusta ratatyön ja liikenteen yhteen sovittamiseksi, käyttökeskustoiminnasta sekä junamatkustukseen liittyvistä matkustajainformaatiopalveluista. Rautatieliikenteen harjoittajia ovat rautatieyhtykset, radan kunnossapitoyhtykset, rataverkolla liikennöivät rataverkon haltijat sekä museoliikenteen harjoittajat, jotka tarvitsevat tietoliikenneyhteyksiä omaan operointiinsa. Näiden lisäksi rataverkolla liikkuu paljon matkustajia, jotka tarvitsevat tietoliikenneyhteyksiä matkustuksensa tueksi.

4.1.2 Rautatieliikenteen toimintaympäristön kehittymistrendit

4.1.1.1 ERTMS

Suomalaisen junien kulunvalvonnan (JKV) elinkaari on päättymässä ja Suomessa ollaan tulevaisuudessa siirtymässä eurooppalaiseen ERTMS/ETCS-järjestelmään. ERTMS-järjestelmän tarpeisiin tietoliikenneyhteyksien näkökulmasta vaikuttaa merkittävästi taso, joka Suomessa tullaan toteuttamaan. ERTMS voidaan toteuttaa kolmella eri tasolla:

- Tasolla 1 junien kulunvalvontajärjestelmä toteutetaan pistemäisenä. Se vastaa toteutukseltaan läheisimmin nykyisin käytössä olevaa JKV-toteutusta, jossa tieto radanvarren ja junan välillä välitetään pistemäisesti baliisien avulla.
- Tasolla 2 junien kulunvalvonta toteutetaan jatkuvana, jolloin saadaan parempi näkyvyys rataverkon kapasiteettiin. Tasolla 2 asetinlaite varmistaa kulkutiet, mutta ajolupa välitetään veturilaitteille ja kuljettajalle langattoman radiosuojastuskeskuksen (RBC) kautta. Tasolla 2 opastimia ja baliiseja ei tarvita samassa määrin kuin tasolla 1, ellei tason 1 varajärjestelmää rakenneta.
- Tasolla 3 junien kulunvalvonta toteutetaan jatkuvana ja juna ilmoittaa sijaintinsa langattomasti radiosuojastuskeskukselle. Tasolla 3 radanvarsilaitteistoa ei hyödynnetä junan sijainnin määrittämiseen, vaan junan sijainnin määrittäminen perustuu pyörän pyörimistä laskevaan takometriin, gyroskoopilla ja kiihtyvyysanturilla suoritettavaan hitausmittaukseen, satelliittipaikannukseen tai näiden yhdistelmiin. Junan paikantaminen määritetään langattoman verkon kautta kuten tasolla 2. Tasoa 3 ei toistaiseksi ole vielä toteutettu missään maailmassa, eikä se vielä ole teknisesti mahdollinen. Keskeiset ratkaistavat haasteet liittyvät junan kokonaisuuden määrittämisen luotettavuuteen, jota ei ole vielä pystytty toteuttamaan turvalaitteilta vaaditulla varmuustasolla.

Tasojen 2 ja 3 keskeinen komponentti on Radiosuojastuskeskus (RBC, engl. Radio Block Centre), joka laskee ajolupatiedot ja välittää ne veturilaitteille. Radiosuojastuskeskus liitetään asetinlaitteeseen ja tiedonkulku tapahtuu jatkuvatoimisesti langattoman verkon kautta. Suomessa nykyisin käytössä oleviin asetinlaitteisiin ei ole mahdollista rakentaa kustannustehokkaasti rajapintaa radiosuojastuskeskukselle, joten jo tasolla 2 joudutaan uusimaan myös asetinlaite. Yhteydet asetinlaitteisiin ja liikenteenohjauskeskuksiin tullaan todennäköisesti toteuttamaan pääosin perustuen kiinteisiin ja olemassa oleviin yhteyksiin. Radiosuojastuskeskusten ja yksittäisten asetinlaitteiden väliset yhteydet voivat olla myös periaatteessa mahdollista toteuttaa langattomin yhteyksin. ERTMSn myötä huomattava osa nykyisin käytössä olevista rautatieturvalaitteista jouduttaisiin uusimaan vuoteen 2040 mennessä. Toisaalta myös JKV:n varaosien saatavuus voi pakottaa nopeuttamaan aikataulua.

Turvalaitteiden vaatima tiedonsiirto edellyttää varmaa radioyhteyttä. ERTMS-tasolla 2 ja 3 tiedonsiirtoyhteydet ja komponentit on oltava varmistettu ja/tai kahdennettu. Jokaiselle junalle on oltava koko ajan varmistettu riittävä kapasiteetti, vaikka kaikki junat olisivat samaan aikaan yhteydessä asetinlaitteeseen. Tällä saattaa olla vaikutuksia myös vaadittuun tukiasemapeittoon. Nykyisten rata ja asetinlaitteiden vasteaika-vaatimukset ovat noin sekunnin luokkaa. Tämän perusteella voidaan olettaa, että 5G:n avulla pystytään tarjoamaan riittävää palvelutasoa viiveen näkökulmasta kauko-ohjauksen, asetinlaitteiden, RBC:n ja junien päätelaitteiden välisiin tietoliikenneyhteyksiin. Järjestelmäkohtaisia vasteaikoja, tiedonsiirtoyhteyksiltä vaadittuja aikoja eikä muita tarkkoja vaatimuksia ole vielä määritetty, vaan ne tarkentuvat tulevaisuudessa.

ERTMS-käyttöönottoon liittyy useita ratkaistavia kysymyksiä ennen kuin mahdollisuuksia 5G-verkon hyödyntämiseksi on mahdollista esittää. Avoinna olevat kysymykset ovat mm.

- **Toteutusjärjestys ja tavoiteltu ERTMS-taso** Vuonna 2017 laaditun Suomen ERTMS-täytäntöönpanosuunnitelmassa esitetään, että pilotointi ja varustelu on tarkoitus aloittaa Pohjois-Suomen hiljaisemmilta rataosilta ERTMS-tason 1 järjestelmällä sekä selvittää tason 2 mahdollisesti tuomia hyötyjä ennen kuin etelän vilkasliikenteisten rataosien varustaminen alkaa 2030-luvulla. Pilottikohteet on esitetty toteutettaviksi JKV- ja ETCS-kaksoisvarustelulla. Vuoden 2019 aikana on käynnistynyt Väyläviraston ja Finrailin Digirata-hanke, jonka on tarkoitus tarkastella ERTMS:n ja rautatieliikenteen ohjausjärjestelmien kehitystä vielä laajemmin. Digirata-hankkeesta saatu ymmärrys luo todennäköisesti tarpeen myös täytäntöönpanosuunnitelman päivittämiseksi. Tällä hetkellä on epäselvää, mille ERTMS-tasolle Suomen rataverkolla tähdätään. Eri rataosuuksilla saatetaan soveltaa erilaisia ratkaisuja riippuen kapasiteettitarpeesta. Tarkoituksenmukaisten 5G-ennakkorakentamisen tunnistamiseksi tulisi olla parempi ymmärrys siitä, mitkä rataosuudet tullaan varustamaan tason 2 ja 3 järjestelmillä.
- **Toteutuksen aikataulu** Vuoden 2017 täytäntöönpanosuunnitelman mukaan rataverkon rata-laittevarustelu on tarkoitus aloittaa pilotoinnilla vuosina 2020–2023, jonka jälkeen toteutustoimenpiteet on tarkoitus toteuttaa kuudessa vaiheessa vuosina 2024–2038. Väyläviraston ja Finrailin Digirata-hanke voi mahdollisesti muuttaa aiempaa aikataulua. Uusi aikataulu asettaa samalla raamit tarkoituksenmukaisille tietoliikenneyhteyksien ennakkorakentamiselle raideliikenneympäristössä. Mitä lähemmäs 2030-lukua toteutus siirtyy, sitä suurempia epävarmuuksia tarkoituksenmukaiseen ennakkorakentamiseen liittyy. Aikataulun siirtyminen tuo myös uusia näkökulmia 5G-teknologioita koskeviin mahdollisuuksiin ja rajoituksiin.
- **Muutokset verkkotopologiassa** Nykyisten asetinlaitteiden päivittäminen tason 2 vaatimuksiin ja uusien radiosuojastuskeskusten rakentaminen voivat tarkoittaa muutoksia nykyiseen topologiaan, mikä voi edellyttää uusien tietoliikenneyhteyksien toteuttamista. Kattava kuva tietoliikennetarpeista edellyttää tarkempia määrittelyjä asetinlaitteiden ja radiosuojastuskeskusten mitoitukselle ja tietoliikenneyhteysvaatimuksille.

- **Radiosuojastuskeskusten ja junien väliset langattomat yhteydet**
ERTMS-aineistossa radiosuojastuskeskusten ja junien välisissä langattomissa yhteyksissä on esitetty hyödynnettäväksi GSM-R-radioverkkoa, joka on Suomessa ajettu alas ja korvattu Virve 1.0 verkolla. Euroopassa ollaan määrittelemässä rautateiden GSM-R verkon korvaavaa uutta 4G/5G-tasosta radioverkkoa, jota kutsutaan nimellä Future Railway Mobile Communications System (FRMCS). ERTMS-kehityksen osalta tulevaisuudessa tulee ratkaistavaksi, mitä tietoliikenneverkkoa Suomessa tullaan tulevaisuudessa käyttämään. Suomen erilaisiksi vaihtoehtoiksi on tunnistettu Virve-verkon seuraavan kehitysvaiheen (Virve 2.0) hyödyntäminen, kaupallisten operaattorien tarjoamien verkkojen hyödyntäminen (5G) tai kokonaan uuden rautatieliikenteeseen dedikoidun verkon (FRMCS / GSM-R) rakentaminen. Yhtenä ratkaisuvaihtoehtona tulee arvioida mahdollisuutta osittaisiin hybridiratkaisuihin. ERTMS 2 ratkaisujen teknistaloudellisen kannattavuuden määrittää osaltaan käytettävän verkkoratkaisuun liittyvät toteutus- ja käyttöönottokustannukset. Verkkoratkaisun valinnan osalta on huomioitava kaupallisten 5G-verkkojen ja Virve 2.0-verkon toteutusaikataulut ja -laajuudet.

4.1.3 Rataympäristön asettamat haasteet digitaalisen infran rakentumiselle

Tulevaisuudessa tietoliikenneyhteyksien merkitys kasvaa kaikessa operoinnissa ja kuluttajien tottumuksissa. Jotta rautatieliikenteen toimintaympäristö pysyy jatkossakin houkuttelevana ja toimivana, rautateiden liikenteenohjauksen tietoliikenneyhteyksien lisäksi on huolehdittava, että matkustajilla, raideliikenteen operaattoreilla ja muilla raideliikenteen toimijoilla on käytössään riittävät ja luotettavat yhteydet.

Raideliikenteen haasteena on tieliikennettä haastavampi toimintaympäristö. Junaratojen läheisyydessä toimiminen on vaarallista junaliikenteen tai radan sähköistyksen takia. Tietoliikenneyhteyksien näkökulmasta keskeinen haaste on käytännön rakentaminen ja laitteiden ylläpito, sillä kaikille rataosuuksille ei ole kunnan huoltotietä, mikä tekee toimimisesta kallista.

Toimintaympäristö on haastava pienten toimijoiden ja matkustajien näkökulmasta, koska näiden volyyymi ei yksinään riitä ohjaamaan kaupallisten operattoreiden verkkoinvestointeja kattavasti rataverkolle. Yksittäisellä väyläosuudella voi olla riittävästi kuituinfraa ja tietoliikenneyhteydet voivat olla hyvät Väyläviraston ja Finrailin tarpeisiin. Olemassa olevat tietoliikenneyhteydet ovat kuitenkin harvoin muiden toimijoiden käytössä ja hyödynnettävissä. Kaupallisten mobiiliverkkojen toteuttamisen liiketaloudellisena haasteena on, että radat kulkevat usein sivussa asutuksesta, jolloin tarvittavat tietoliikenneyhteydet rakentuvat usein vain raideliikenteen tarpeita varten. Liiketoiminnan ja tekniikan mitoituksen näkökulmasta haaste syntyy, kun junan ohittaessa tukiasemaan kytkeytyy suuri määrä nopeasti liikkuvia päätelaitteita, jotka vaativat yhdeltä tukiasemalta paljon kapasiteettia. Suurimman osan ajasta tukiasemilla ei välttämättä ole juurikaan tietoliikennettä.

4.2 Tietoliikenneyhteydet rautatieympäristössä

4.2.1 Tietoliikenneyhteyksien omistus ja hallinta rautatieympäristössä

Rautatieliikenteessä hyödynnetään mobiiliyhteyksiä ja kiinteitä yhteyksiä. Kaupalliset palveluntarjoajat (Elisa, DNA ja Telia) tuottavat pääosin mobiiliyhteydet, joita hyödynnetään mm. kuljettajien päätelaitteisiin, urakoitsijoiden mobiiliyhteyksiin sekä matkustajien tiedonsiirtoon. Kaupallisten mobiiliyhteyksien lisäksi rautatieliikenteen käytössä on Suomen Erillisverkot konserniin kuuluvan Suomen Turvallisuusverkko Oy:n operoima viranomaisverkko Virve (1.0), jota käytetään puheviestintään viranomaisten kesken sekä viranomaisten ja raideliikenteen välillä. Virve (1.0) -mobiiliverkko on tarkoitettu pääasiassa puheviestintään eikä tue tiedonsiirtotarpeita, kuten nykyiset kaupalliset mobiiliyhteydet. Virve 1.0 tullaan korvaamaan 2020-luvun alussa toteutettavalla Virve 2.0-verkolla. Nykyisten suunnitelmien mukaan nykyinen Virve-verkko säilyy rinnalla 2020-luvun loppuun asti.

Rautatieliikenteen keskeisimmät tietoliikenneyhteydet, kuten turvalaitteiden yhteydet, on toteutettu kiinteinä yhteyksinä. Kiinteitä yhteyksiä on toteutettu perustuen kupariin ja valokuituun. Rautatieliikennettä palvelevat telekaapelit omistaa osin Väylävirasto ja osin Cinia, jolle rautatieliikenteen telekaapelien omistajuus on päätynyt historiallisista syistä. Telekaapeleiden tarkasta sijainnista ja niiden omistajuudesta ei ole aina tarkkaa yhteistä tietoa ja investoinnit uusiin kaapeleihin toteutetaan tarpeen mukaan. Finrail omistaa pääosin kiinteät yhteydet asemilla liittyen mm. asemien ja ratapihojen kameravalvontaan sekä matkustajainformaatio- ja kuulutuspalveluiden laitteisiin. Yhteydet asemille Finrail hankkii kaupallisilta operaattoreilta. Finrail ei itse omista ohjausjärjestelmissä tarvitsemiaan kuituja. Kaikki rautatiealueella sijaitsevat kaapelit eivät palvele vain rautatieliikennettä, vaan rautatiealueilla on operaattorien telekaapeleita, joita käytetään muihin tarkoituksiin.

Väyläviraston rautatieliikennettä palveleva sähköverkko on toteutettu pääosin ratojen sähköistyksen (ratajohto) sekä muiden radan käyttöä palvelevien toimintojen tarpeisiin (esim. valaistus, vaihteenlämmitys ja rakennukset). Sähkökaapelointi on toteutettu vaihtelevasti maahan, kaapelikanaviin sekä ilmajohdoina. Rata-alueiden sähköliittymät ovat pääosin Väyläviraston hallinnassa, mutta osa on myös yhteisomistuksessa.

Rautatiealueilla kiinteät tietoliikenneyhteydet on sijoitettu hyvin vaihtelevasti. Nykyisen ohjeistuksen mukaan uusissa ratahankkeissa ja vanhojen ratojen parannuksissa radan viereen toteutetaan betonisia kaapelikanavia, joihin tele- ja sähkökaapelit voidaan sijoittaa. Kaapelikanavia pidetään teknisesti hyvänä ratkaisuna. Osa nykyisistä kaapelikanavista on täynnä, joten uusien kaapelien sijoittaminen ja vanhojen kaapeleiden jatkaminen on hankalaa. Jatkossa kaapelikanavien mitoituksessa tulee kiinnittää erityistä huomioita myös tulevaisuuden tarpeisiin. Vanhoilla rataosuuksilla telekaapeleita kulkee myös aurattuna sepelein joukkoon sekä ilmajohdoina. Yksittäistapauksissa kaapeleita voi kulkea myös kuormitetussa rakenteessa kiskojen alla, jolloin käytännössä niiden ylläpito on mahdotonta uusiminen edellyttää lähes poikkeuksetta uusien kiinteiden yhteyksien toteuttamista.

Raideliikenteen operoinnin näkökulmasta tietoliikenneyhteyksien tilanne on hyvä suhteessa nykyisten ja tulevaisuuden palveluiden tarpeisiin. Rautatieympäristössä on paljon kiinteitä yhteyksiä, jotka on toteutettu raideliikenteen ohjauksen tarpeisiin ja siten tarjoavat riittävät tietoliikenneyhteydet. Turvalaitejärjestelmään liittyvät tietoliikenneyhteydet on niiltä vaaditun turvallisuustason vuoksi pidettävä erillään muusta tietoliikenneverkosta, joten todennäköisesti erillinen kiinteä verkko on perusteltua jatkossakin. Nykytilanteessa keskeiset kehittämistarpeet kohdistuvat vanhojen kaapeleiden uusimiseen sekä langattomien yhteyksien parantamiseen syrjäisimmillä rataosuuksilla. Langattomien yhteyksien parantumisesta hyötyisivät rautatieliikenteessä erityisesti matkustajat, urakoitsijat liikenteenohjaajat sekä junankuljettajat (päätelaitteiden käyttö ja puheviestintäyhteydet).

4.2.2 Rautatieliikenteen tietoliikenneyhteyksien käyttö ja kehitystarpeet

4.2.1.1 *Matkustajat*

Matkapuhelinten käyttäjien tiedonsiirtomäärät ovat olleet pitkään kasvussa ja näyttävät kasvavan edelleen. Erityisen paljon kaistaa vievät videoiden katselu sekä suurten tiedostojen lataaminen esimerkiksi etätöihin liittyen. Käytetyt tietoliikenneyhteydet perustuvat matkapuhelinoperaattoreiden mobiiliverkkoihin joko suoraan tai epäsuorasti kaukojunaliikenteen langattoman WiFi-verkon välityksellä, joka perustuu myös kaupalliseen mobiiliverkkoon. Matkustajien näkökulmasta 5G tuo parannusta tietoliikenneyhteyksiin lisäkapasiteetin avulla. Matkustajien tarpeiden näkökulmasta nopeampia yhteyksiä tärkeämpää on 4G-verkon peiton laajentaminen raideosuuksille, jolla on tälle hetkellä katvealueita.

4.2.1.2 *Rautatieliikenteen ohjaus ja junien kulunvalvonta*

Liikennöinnin turvallisuudesta rataverkolla vastaa liikenteenohjaus. Kulkutien turvaaminen tehdään rautateiden turvalaitteiden avulla, jotka perustuvat kiinteisiin yhteyksiin nykyisen näkemyksen mukaan myös tulevaisuudessa.

Valtion rataverkolla junaliikenteen hallinnassa ja liikenteenohjauksessa hyödynnetään pistemäistä junien kulunvalvontajärjestelmää (JKV), joka perustuu rataa ja liikkuvaan kalustoon asennettuihin laitteisiin. Ratalaitteet ovat yhteydessä kauko-ohjauslaitteisiin kiinteänä kupari- tai valokuituyhteytenä, josta vastaa Väylävirasto. Kiinteät yhteydet ovat osin Väyläviraston ja osin palveluntuottajana toimivan Cinian omistuksessa. Ratojen perusparannusten ja uusimisten yhteydessä vanhoja yhteyksiä ollaan osittain korvaamassa kuitukaapeleilla. Raideliikenteen operaattorit vastaavat nykyisin liikkuvan kaluston päätelaitteista. Osalla rataosuuksista olisi tarvetta nykyistä paremmalle junien kulunvalvonalle. Merkittäviä investointisuunnitelmia uusien yhteyksien rakentamiselle ei todennäköisesti tehdä ennen ERTMS-suunnitelmien selkeytymistä. Tulevaisuudessa 5G-yhteydet voivat tuoda lisämahdollisuuksia junien kulunvalvontaan, mikäli niillä pystytään parantamaan junien sijaintitietoa.

Nykyisin rautateiden turvallisuuteen liittyvä puheviestintä toimii Väyläviraston tuottaman RAILI-palvelun kautta. Liikenteenohjauskeskuksissa RAILI-palvelua käytetään kiinteillä viestintäpäätelaitteilla. Rautatieympäristössä RAILI-palvelua käytetään joko suoraan Virve (1.0) -verkossa toimivilla puhelimilla tai kaupallisissa mobiiliverkoissa toimivilla älypuhelimilla, joissa on RAPLI-kirjautumis-

sovellus. Kansallisen määräyksen mukaisesti junaliikenteen viestintään liikkuvassa kalustossa on aina käytettävä Virve 1.0 verkon puhelimia. Erilaisten radioverkkojen käyttömahdollisuus perustuu Väyläviraston URCA-viestintä- ja sovel-lusalustaan (Unified Railway Communication and Application). Rautateiden vies-tinnän erityistoiminnallisuudet voidaan tarjota kaikille URCA-alustaan liitettyjen radio- tai mobiiliverkkojen käyttäjille. URCA:n avulla viestintäpalvelut voidaan siirtää myös tulevaisuuden mobiiliverkkoihin, kuten esim. Virve 2.0:een tai kehit-teillä olevaan FRMCS:ään. RAILI-palvelun ja eri verkkojen laitteiden yhteen liittä-misessä tarvittavien kiinteiden kuitu- ja paikallisverkkojen omistajuus jakautuu Väyläviraston ja palveluntuottajana toimivan Cinian välille.

Finrailin vastuulla oleva tekninen valvomo seuraa ja ylläpitää valvontalaitever-koston toimivuutta. Valvomo kerää tietoa RFID-lukijoista, pyörävoimailmai-simista, kuumakäynti-ilmaisimista ja virroitinkameroista. Saadut hälytykset vä-litetään ko. rataosaa valvovaan liikenteenohjaukseen ja tekniseen valvomoon, josta ne välitetään kalustoyksikön kuljettajalle. Tulevaisuudessa 5G-yhteydet ja IoT-verkot voivat tuoda uusia mahdollisuuksia liikkuvan kaluston valvontalait-teisiin.

4.2.1.3 Raideliikenteen operointi

Raideliikenteen puheviestinnän lisäksi junien kuljettajat hyödyntävät tietoliiken-neyhteyksiä KUPLA-sovelluksella. KUPLA (kuljettajan päätelaite) mahdollistaa sähköisen tiedonvälityksen yksikön kuljettajan ja liikenteenohjauksen sekä lii-kenteenhallintajärjestelmien välillä. Sovellus tuottaa kuljettajalle reaaliaikaisen aikataulu-, ennakkoilmoitus-, ja paikkatiedon sekä viestintäyhteydet. Palvelusta vastaa Finrail ja se toimii kaupallisten operaattoreiden tuottamassa mobiiliver-kossa. KUPLA toimii riittävästi jo 3G-yhteyksin, joten 5G ei lähtökohtaisesti tuo palveluun erityisiä kehittämismahdollisuuksia. Palvelun näkökulmasta tär-keämpää on mobiiliverkon kuuluvuusalueiden laajentaminen ja rataverkolla ole-vien katvealueiden poistaminen.

Yksi tulevaisuuden kehityspolku on junien autonomisuus ja etäohjaus, joka kyt-keytyy osin junien kulunvalvonnan kehitykseen. Jo nykyisin ratapihoilla tehdään junien etäohjausta radio-ohjauksen avulla, mutta keskitetystä ohjauskeskuk-sesta tapahtuva etäohjaus edellyttäisi jatkuvan ja viiveettömän videokuvan saa-mista junista ja ratapihoilta. Tietoliikenneyhteyksiltä tämä edellyttäisi merkittä-vää tiedonsiirtokapasiteettia ja pientä viivettä. Riittävän kokonaisreaktioajan ra-kentamiseksi, verkon kokonaisviive on vain yksi haaste ja todennäköisesti suu-remmat haasteet liittyvät viiveen näkökulmasta videon käsittelyyn sekä kalus-ton mekaanisen reaktiokyvyn parantamiseen. Autonomiset junat ja etäohjaus edellyttävät kuitenkin ensisijaisesti edistysaskelia junien ohjausjärjestelmien modernisoimiselta ja junien paikannuksen kehittämiseltä kuin tietoliikenneyhy-teyksiltä.

4.2.1.4 Väyläviranomaiset

Väylävirasto ostaa matkustajainformaatio- ja kuulutuspalveluita Finraililta. Finrail omistaa asemien ja laiturien matkustajainformaatio näytöt ja kuulutus-laitteet, asemilla olevat laitteiden kiinteät kupari- ja valokuituyhteydet (LAN-verkko) sekä matkustajainformaatiopalvelimet. Finrail ostaa tarvittavat verkko-yhteydet asemille kaupallisilta operaattoreilta, sillä palveluissa ei ole pystytty

hyödyntämään Väyläviraston olemassa olevia kiinteitä yhteyksiä. Tulevaisuudessa mobiiliyhteyksien hyödyntäminen voi kuitenkin olla varteenotettava vaihtoehto etenkin niillä asemilla ja seisakkeilla, joilla ei ole vielä yhteyksiä.

Liikennepaikoilla ja avo-osuuksilla kameravalvonta liittyy pääasiallisesti ratapihojen ja seisontaraiteiden valvontaan, junien tunnistamiseen sekä vaihtotyön liikenteenohjaukseen. Sillä pyritään saamaan parempaa tilannekuvaa liikenteenohjaajille. Asemilla ja laiturialueilla kameravalvontaa hyödynnetään turvalvotomopalveluissa henkilöturvallisuuden parantamiseksi ja ilkivallan vähentämiseksi. Nykyisellään kattava kameravalvonta ei ulotu kaikille ratapihoille ja tulevaisuudessa on nähtävissä tarvetta kameravalvonnan laajentamiselle. Finrail vastaa asemien kameravalvonnasta, kameroista sekä niiden tarvitsemista kiinteistä tietoliikenneyhteyksistä. Ainakin osa vähemmän turvallisuuskriittisistä yhteyksistä olisi mahdollista toteuttaa myös mobiiliyhteyksin. Kameravalvonta pyritään usein toteuttamaan vähintään HD-tasoisena kuvana, joten tulevaisuudessa 5G-yhteydet voivat tuoda uusia mahdollisuuksia erityisesti kameravalvonnan kehittämiseksi ja laajentamiseksi, vaikka suurin osa valvontakameroista toimii hyvin jo 4G-verkossa.

4.2.1.5 Urakoitsijat ja muut rataympäristössä työskentelevät

Urakoitsijat hyödyntävät tietoliikenneyhteyksiä puheviestintään, paikantamiseen sekä jatkossa yhä suurempien tietomääriä sisältävien aineistojen, kuten tietomallipohjaisten suunnitelmien hyödyntämiseen, käsittelyyn ja ylläpitoon kentällä. Kaupallisia mobiiliverkkoja urakoitsijat hyödyntävät ei-turvallisuuskriittiseen viestintään ja erilaisten aineistojen hyödyntämiseen. Rautatieliikenteen turvallisuuskriittinen viestintä, kuten hätäpuhelut, tukiasemapeittoon perustuva paikantaminen, viranomaispuheviestintä sekä häiriötilanneviestintä, tapahtuu RAILI-palvelun kautta käytettävässä Virve-viranomaisverkossa. Nykyistä suurempien tiedonsiirtovaatimusten lisäksi mobiilikäyttö edellyttää jatkossa nykyistä tarkempaa sijainnin paikannusta. Nykyisellään sijainnin määrittäminen perustuu usein GPS-sijaintiin (esim. RUMA), joka ei yksinään ole riittävän tarkka rataympäristöä koskevien sijainnin määrittämiseksi. Uudet radioteknologiat mahdollistavat mikropaikannuksen, jolloin ne voivat tarjota GPS-sijaintia täydentävän tavan paikantamiskäytölle. Tarkkaa sijaintia on mahdollisuus hyödyntää esimerkiksi työmailla, joissa muutaman väliaikaisen tarkasti määritellyn sijaintipisteen avulla työmailla toimivien henkilöiden sijainnin voitaisiin määrittää hyvinkin tarkasti liikenteenohjauskeskukseen.

RAPLI on puheviestintään tarkoitettu Android-älypuhelinsovellus, joka toimii kaikissa kaupallisissa 2G, 3G ja 4G verkoissa. Sovellusta käyttävät erityisesti rataurakoitsijat, mutta myös mm. konduktöörit. RAPLI on myös junien kuljettajilla käytössä varaviestintävälineenä. RAPLI mahdollistaa käyttäjän kirjautumisen RAILI-palveluun työn ja tehtävän yksilöllisellä tunnuksella, sekä helppokäyttöisen puheviestinnän ratatyöryhmän ja liikenteenohjauksen välillä. RAPLI-käyttäjät pystyvät soittamaan ja vastaanottamaan rautatiehätäpuhelun.

RUMA on rataurakoitsijoiden käyttöön tarkoitettu palvelu, jonka tarkoituksena on parantaa ratatöiden turvallisuutta ratatyöryhmien paikantamisella sekä digitalisoimalla nykyisiä paperilomakkeita. Palvelu käyttää mobiililaitteiden tarjoamia paikannuspalveluja käyttäjän sijainnin selvittämiseen ja sen välittämiseen liikenteenohjaukselle sekä ratatöistä vastaaville ja muille ratatyöryhmän jäsenille. RUMA toimii kaupallisten operaattorien tuottamissa mobiiliverkoissa. Nykyiset tietoliikenneyhteydet ovat sovelluksen käytölle riittävät ja palvelun

käytön näkökulmasta tärkeämpää on tietoliikenneyhteyksien kuuluvuusalueiden laajentaminen ja katvealueiden poistaminen.

4.2.1.6 Eri toimijoita koskevat yhteiset kehitysteemat

Kamerat ja konenäön hyödyntäminen on trendi, jota raideliikenteessä on mahdollista hyödyntää nykyistä enemmän muun muassa parantuvien tietoliikenneyhteyksien myötä. Konenäköä voidaan raideliikenteessä hyödyntää jatkossa mm. junavaunujen tunnistamisessa, junien sijainnin määrittämisessä, radan ylläpidossa, ratavikojen tunnistamisessa sekä radalla tai radan sivussa olevien mahdollisten esteiden tunnistamisessa. 5G:n ja IoT-verkkojen kehityksen myötä uusia kameroita voidaan toteuttaa liikkuvaan kalustoon tai langattomasti osuuksille, joilla kiinteitä yhteyksiä ei tällä hetkellä ole. Jo keskitaajuuksinen 5G-verkko voivat mahdollistaa riittävän tiedonsiirtokapasiteetin ja lähes kiinteitä yhteyksiä vastaavan luotettavuuden, jolla reaaliaikaista videokuva voidaan välittää kalustosta tai maastosta. Toisaalta 5G-verkon toteuttaminen yksittäisiin kohteisiin, kuten asemille tai ratapihoille, mahdollistaisi esimerkiksi junan kerrään korkealaatuisen videokuvan siirtämisen langattomasti junasta pilvipalveluun. Lisäksi kamerakuvaa voidaan jatkossa hyödyntää eri tavoin myös hahmontunnistukseen.

5G ja IoT-verkkojen myötä mahdollisuudet kustannustehokkaalle etäsensoroinnille ja -ohjaukselle kasvavat. 5G:n myötä saman tukiaseman alueelle on mahdollista sijoittaa enemmän sensoreita ja sensoreiden akun kesto pidentyy, mikä vähentää sensoreiden kunnossapitotarvetta ja tekee sensoreiden hyödyntämisestä edullisempaa käyttäjälle. Raideliikenteessä IoT-sensoreita voidaan hyödyntää usein eri tavoin. Ratalaitteiden, ratarakenteiden ja siltojen kunnossapidossa (kuten vaihteenlämmittimissä) ne voivat tarjota analytiikkaa ennakoivalle kunnossapidon suunnittelulle. Sensorointi voi auttaa myös kaluston kunnossapidossa ja etäseurannassa, millä voidaan parantaa kaluston huollon ennakkointia. Etäsensoreiden avulla myös junavaunujen seurantaa on mahdollista kehittää. Lisäksi IoT-ratkaisut voivat mahdollistaa etäältä tapahtuvan langattoman puomiohjauksen ja varoitusvalojen käytön alueilla, joilla kuituyhteyksiä ei ole saatavissa.

5 Näkemykset tietoliikenneyhteyksien kehittymisestä maantie- ja rautatieympäristössä

Virve 2.0 kehitys voi antaa lisäsysäyksen 4G-verkon täydentymiselle

Nykyisellään 4G-yhteydet kattavat suurimman osan Suomesta syrjäisimpiä alueita lukuun ottamatta. Taajamien läheisyydessä kulkevat pääväylien osuudet ovat kattavasti 4G-verkon piirissä. Teleoperaattoreiden 4G-verkot eivät vielä täysin kata tieverkostoa Pohjois- ja Itä-Suomessa, minkä lisäksi taajamien välisillä osuuksilla löytyy katvealueita jopa keskeisiltä pääväyliltä. 4G-toimilupaehdoissa on edellytetty, että verkko on rakennettava siten, että se kattaa kaikki Manner-Suomen valtatie, kantatiet, seututiet ja yhdystiet sekä koko Suomen valtion omistaman rataverkon helmikuuhun 2020 mennessä. Toimilupaehdoissa käsitellään kuitenkin ainoastaan yhteyksien saatavuutta, mutta ei oteta kantaa toteutuviin tiedonsiirtonopeuksiin.

Lähitulevaisuuden toinen selkeä kehityskulku 4G-yhteyksien parantumiselle ja katvealueiden kattamiselle on viranomaisverkko Virve 2.0 käyttöönotto 2020-luvun alkupuolella. Erillisverkkojen vastuulla oleva Virve-verkko tulee pääosin viranomaisten käyttöön ja sen toteuttajina toimivat kaupalliset operaattorit. Tullevaisuudessa Virve-verkon toteutus tarkoittaa todennäköisesti uusien tukiasemapaikkojen toteuttamista pääväylien ja alemman tieverkon läheisyyteen, jotta Virve-verkko saadaan toimimaan kattavasti. Uusien tukiasemapaikkojen toteuttaminen Virve-verkon tarpeisiin luo edellytykset myös kaupallisten 4G- ja 5G-verkkojen parantamiseen pääväylien varressa. Huomattavan paljon riippuu aikataulusta, toteutuksen vaatimustasosta sekä tavoitellusta laajuudesta.

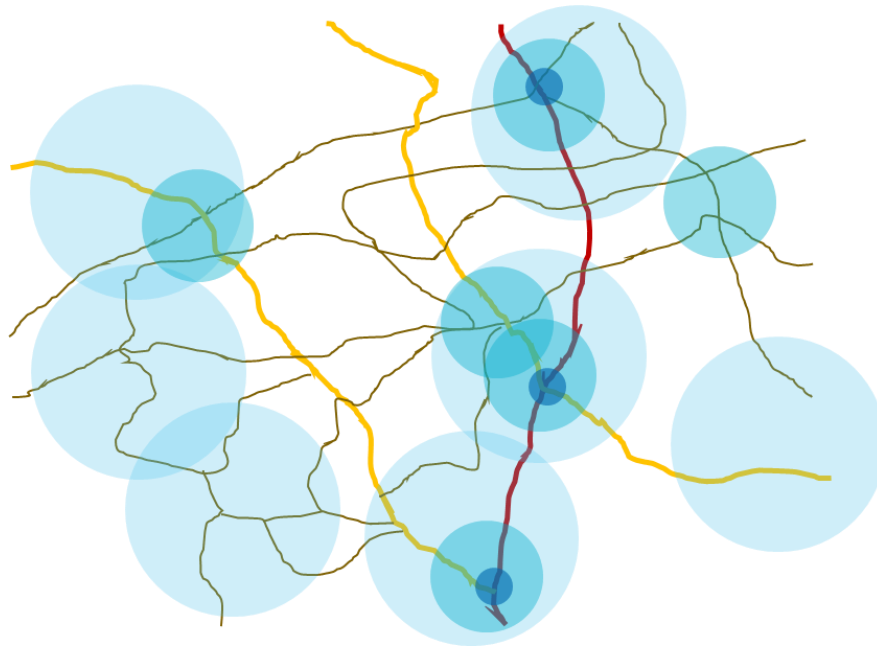
IoT-verkot ovat hyödynnettävissä maanlaajuisesti

Jo ennen mataliin taajuuksiin perustuvan 5G-verkon laajamittaista laajentumista, operaattorit ovat toteuttamassa NB-IOT ja LTE-M-verkkoja, jotka mahdollistavat IoT-sensoreiden hyödyntämisen. Operaattoreiden mukaan nämä verkot ovat maanlaajuisesti hyödynnettävissä jo 2020 vuoden aikana. Monin paikoin näitä voidaan hyödyntää väylänpitäjän tarpeisiin mm. väylän kunnon ja olosuhdetietojen keräämiseen, liikenteen seuraamiseen sekä rakenteiden kunnon seuraamiseen.

5G-verkko toteutuu ensivaiheessa perustuen mataliin taajuuksiin

Nykyisen ymmärryksen mukaan 5G:n toteutuminen näyttää ensivaiheessa toteutuvan perustuen 3,5 GHz taajuuteen sekä mahdollisesti käyttöönotettavaan 700 MHz taajuuteen. 5G-verkon toteuttajina toimivat kaupalliset operaattorit, joille taajuusalueet on huutokaupattu. 5G-verkon yhtenä realistisena toteutusvaihtoehtona on nähty, että 700 MHz-taajuusalueen avulla mahdollistetaan kattava peitto ja 5G-perusominaisuudet ja 3,5 GHz avulla tarjotaan nopeampaa tiedonsiirtoa tarvittavissa kohdissa. On myös arvioitu, että tulevan vuosikymmen aikana myös muita lisensoituja taajuuksia tullaan mahdollisesti migratoimaan ainakin osin 5G teknologian alle.

5G-teknologian hyödyntäminen vaatii muutakin kuin korkeampien taajuuksien käyttöönottoa. Tarvitaan laitevalmistajien teknologian kehittymistä ja laitteiden hinnan alentumista. Ensimmäisessä vaiheessa 5G-verkko tarjoaa käyttäjille lähinnä suurempia yhteysnopeuksia.



Kuva 4. Pitkällä aikavälillä 5G-verkon arvioidaan rakentuvan useille taajuuksialueille, joiden ominaisuudet tulevat täydentämään toisiaan.

Operaattoreiden näkemysten mukaan 5G-verkon toteutus tulee seuraamaan asututusta. Ensimmäisinä alueina toteutuvat kaupunkien keskustat sekä isojen kaupunkien esikaupunkialueet, joissa mobiiliverkot ovat ajoittain lähellä kapasiteettiaan. Pääväylien näkökulmasta tämä tarkoittaa, että mataliin ja keskitaajuuksiin perustuvat 5G-yhteydet ovat todennäköisesti hyödynnettävissä ensimmäisessä kaupunkien ympäristöissä eli merkittävillä kaupunkirakenteen sisäisillä sisääntuloväylillä, kehäteillä ja satamayhteyksissä. Kaupunkien ulkopuolelle 5G-verkko rakentuu seuraten ensisijaisesti asutuksen tarpeita.

Pelkästään liikenteen tarpeisiin tulevien tukiasemien toteuttamisen haasteena tulee helposti olemaan heikot liiketoiminnalliset edellytykset. Investoinnit uusien tukiasemien toteuttamiseen pelkästään kaupallisin perustein näyttävät epävarmalta, ellei liikenteeseen synny merkittävää tiedonsiirtokapasiteettia tai muita 5G-ominaisuuksia edellyttäviä käyttötapauksia sekä niihin toimivia liiketoimintamalleja. Yksi keskeinen mahdollistava kehityssuunta olisi tietoliikenneyhteyksien yleistymisen ajoneuvoissa, mikä loisi operaattoreille taloudellisen intressin kattavien yhteyksien toteuttamiseksi.

Kaupungeissa nykyinen tukiasemaverkko riittää pääosin hyvin matala- ja keskitaajuuksiin perustuvan 5G-verkon toteuttamiseen. Uusien tukiasemien rakentamista ei todennäköisesti tarvita, sillä kaupungeissa haasteena on usein enemmänkin yksittäisiin soluihin kohdistuvat kapasiteettihaasteet kuin varsinaiset tukiasemasolujen katvealueet. 5G-verkko voidaan kaupungeissa toteuttaa pääosin päivityksinä tukiasemalaitteisiin ilman merkittäviä rakentamista. Kaupunkien ja isompien taajamien ulkopuolella syntyy todennäköisesti tarvetta

nykyistä tiheimmän tukiasemaverkon rakentamiseen, jos matala- ja keskitaajuuksinen 5G-verkko halutaan toteuttaa nykyisen 4G-verkon laajuudessa. Arvioiden mukaan keskitaajuuksisen 5G-tukiaseman kantama on alle puolet 4G-verkon kantamasta, joten kattavan 5G-verkon toteuttaminen perustuen keskitaajuuksiin edellyttää merkittävää uusien mastojen rakentamista. Yhtäjaksoisen keskitaajuuksisen 5G-verkon toteuttaminen pääväylille edellyttäisi todennäköisesti satojen uusien tukiasemien rakentamista. Keskeiset rakentamistarpeet kohdistuvat uusien tukiasemapaikkojen toteuttamiseen sekä sähkö- ja kuituyhteyden tuomiseen tukiasemille.

Uudet tukiasemat eivät välttämättä tule sijaitsemaan väyläalueella tai edes niiden välittömässä läheisyydessä, vaikka ne tulisivat jatkossa palvelemaan edes osin tie- ja rataliikennettä. Maaston muotojen huomioimiseksi ne voivat sijaita myös etäällä väylästä, jolloin tarvittavat sähkö- ja kuituyhteydet voidaan tuoda suoraan läheisestä taajamasta ilman tarvetta rakentamiseen väyläalueella. Operaattoreiden arvion mukaan tietoliikenteen runkoyhteyksien tilanne pääväylien varressa on keskimäärin hyvä, joten merkittävää väyläalueille kohdistuvaa tietoliikenneyhteyksien rakentamista ei välttämättä synny pohjoisen alueita lukuun ottamatta, jossa tarvittavia runkoyhteyksiä ei välttämättä ole. Väylävirastolla ei siis välttämättä ole suoraa vaikutusvaltaa tai mahdollistamiskeinoja yksittäisten uusien tukiasemien toteuttamiseen, jotka sijaitsevat väylien ulkopuolella.

Korkeataajuuksisen 5G-verkon toteutuminen pääväylille näyttää epätodennäköiseltä

Korkeisiin taajuuksiin perustuvan 5G-verkon laajamittainen toteutus pääväylien varressa 2025 vuoteen mennessä näyttää operaattoreiden haastatteluiden perusteella hyvin epätodennäköiseltä. Toiseksi tiedossa olevista liikenteen lähitulevaisuuden käyttötapauksista ei löytynyt selkeitä sovelluksia ja palveluita, jotka nimenomaisesti edellyttäisivät korkeataajuuksisen 5G-verkon toteutusta.

Tieliikenteestä on tunnistettavissa uusia palveluita liittyen automaatioon ja autojen väliseen kommunikaatioon, joilla on suhteellisen merkittäviä tiedonsiirtotarpeita. Monet tieliikenteen palvelut ovat vielä kehitysasteella ja niiden yleistyminen markkinoilla olevissa ajoneuvoissa vie todennäköisesti usean vuoden. Palveluihin liittyvän tekniikan ja arkkitehtuuriratkaisuiden kehittyminen myös itsessään vähentää palvelun tarpeita tiedonsiirrolle. Toisaalta suurin osa tieliikenteen lisääntyvästä ja turvallisuuskriittisestä kommunikaatiosta näyttää järjestyvän suoraan ajoneuvojen välisin lyhyen kantaman yhteyksin ilman tarvetta ulkopuoliselle verkolle. Mikäli palvelut yleistyvät alueilla, joilla on suuria liikennemääriä, voi tiedonsiirtoyhteyksille aiheutua helposti suuria kuormituksia ja siten edellyttää suurikapasiteettisten 5G-verkkojen toteuttamista. Tieliikenteessä haasteena on, että pääsääntöisesti ajoneuvot eivät ole varustettuna tietoliikenneyhteyksin, mikä mahdollistaisi operaattoreille uudenlaisten ansaintalogiikoiden muodostumisen. Ajoneuvokannan uudistuessa suhteellisen hitaasti, uusien palveluiden tulo markkinoille ei välttämättä tarkoita niiden välitöntä käyttöönottoa ja laajaa leviämistä.

Raideliikenteestä ei tunnistettu ERTMS-kehitystä (tasot 2 ja 3) lukuun ottamatta sellaisia merkittäviä käyttötapauksia, jotka nimenomaisesti edellyttäisivät ylempien taajuuksien 5G-verkon toteutumista. Haastatteluiden perusteella 5G-verkko voisi mahdollisesti toimia yhtenä osana kokonaisratkaisua, esimerkiksi varayhteytenä, mutta tuskin päätarkoituksena. Aikataulullisesti ERTMS-toteutus näyttää sijoittuvan aikaisintaan 2020-luvun loppupuolelle, joten lähitulevaisuudessa ei ole tunnistettavissa siihen liittyviä toteutustarpeita.

Nykyisen näkemyksen mukaan korkeataajuuksinen verkko ei toteudu kattavasti edes kaupungeissa, vaan se tulee toteutumaan yksittäisiin "hot spotteihin" ja rajattuihin ympäristöihin (esim. satamat, kampusalueet, tehdasympäristöt, tapahummat), joissa on tarvetta täydentää matalilla taajuuksilla toteutettua 5G-verkkoa. Näillä alueilla korkeiden taajuuksien avulla voidaan tarjota hyvin korkeita tiedonsiirtonopeuksia tai tarjota kohtuullista tiedonsiirtokapasiteettia hyvin suurelle määrälle päätelaitteita. Yksittäisten alueiden toteutuminen edellyttää, että syntyy todellisia kaupallisen potentiaalin käyttötapauksia ja palveluita.

Laajamittainen ja kattava korkeataajuuksisen 5G-verkon toteutus pääväylien varressa näyttää epätodennäköiseltä myös pidemmällä aikavälillä. Liikenteen tiedonsiirtotarpeiden kasvaessa, on kuitenkin mahdollista, että myös pääväylille syntyy tarve yksittäisten korkeataajuuksisten tukiasemien toteuttamiselle. Pääväylien näkökulmasta tämä voi tarkoittaa yksittäisiä pistemäisiä toteutuksia liikenteen erityiskohteissa, joissa on tarvetta suurelle tiedonsiirtokapasiteetille tai vaatimus tietyistä tiedonsiirtonopeuksista. Pääväylien yksittäiset "superosuudet" voivat sijaita esimerkiksi vilkkaasti liikennöidyillä tieosuuksilla. Näitä superalueita voisivat olla esim. liittymäkohdat moottoritielle tai moottoriteiden liittymät, joissa olisi mahdollista siirtää hyvin suuria tietomääriä nopeasti, esim. tarvittava HD-kartta-aineisto suunnitellun reitin mukaiselta tieosuudelta tai ladata ajetulta tieosuudelta tallentunut data pilvipalveluun. Rautatieliikenteessä tällaiset kohteet voisivat olla vilkkaasti liikennöityjä asema- ja ratapihaympäristöjä tai pistemäisiä kohteita rataosuuksilla. Tällaisissa ympäristöissä on nähtävissä teoreettinen potentiaali uusien käyttötapauksien syntymiselle, jotka edellyttävät tietoliikenneyhteyksiltä hyvin suurta tiedonsiirtonopeutta tai luotettavuutta.

6 Tunnistetut jatkotoimenpide-ehdotukset

Lähtökohtaisesti tietoliikenneoperaattorit tulevat toteuttamaan 5G-verkon sekä suurimman osan muusta väylien varsille toteutettavasta tietoliikenneinfrastruktuurista. Monet asiat toimivat jo nykyisellään hyvin väyläympäristössä, eikä väyläviranomaisten toiminta ja nykyiset toimintaperiaatteet muodosta pullonkaulaa myöskään 5G-verkkojen rakentumiselle. Käytännön haasteet 5G-verkkojen toteuttamiselle tulevat todennäköisesti muualta, kuten liiketoiminnan löytymisestä kattamaan uusien investointien kustannukset. Väyläviranomaisten toimintaa kehittämällä on kuitenkin mahdollisuus edesauttaa 5G-verkon ja muiden tietoliikennedyhteyksien rakentamista väylien varrelle.

Tunnistetut jatkotoimenpide-ehdotukset on jaettu kolmeen ryhmään; strategiseen ohjaukseen, toimintamallien ja prosessien kehittämiseen sekä passiivisen infran ennakkorakentamiseen. Strategisen ohjauksen toimenpiteiden tarkoituksena on selkeyttää suuntaviivat väyläviranomaisen roolille tietoliikenneasioiden edistäjänä sekä kirkastaa tavoitetaso tietoliikenneasioiden kehittämiseksi väyläalueilla. Toimintamallien ja prosessien kehittämisen toimenpiteissä on tunnistettu väyläviranomaisten toiminnan kehityskohtia, joilla voidaan entisestään edistää tietoliikennedyhteyksien rakentamista ja saatavuutta pääväylillä. Passiivisen infran ennakkorakentamisen tarkoituksena on tunnistaa konkreettisia toimenpiteitä, joilla Väylävirasto voi uusien hankkeiden ja perusparannusten yhteydessä luoda edellytykset tehokkaalle tietoliikennedyhteyksien rakentumiselle tulevaisuudessa.



Strateginen ohjaus

1. Väyläviranomaisten rooli tietoliikenneasioiden edistämiseksi kaipaa selkeyttämistä
2. Tietoliikennedyhteydet tulisi kytkeä tiiviimmin osaksi väylien kehittämistä ja palvelutasotavoitteita

Toimintamallien ja prosessien kehitys

3. Digitaalisen infran yhteiskäyttöisyyttä tulisi edistää väyläalueilla
4. Viranomaisten ja operaattoreiden yhteistyötä on tarpeen syventää ja systematisoida
5. Tietoliikennedyhteydet tulisi huomioida nykyistä aikaisemmin väyläviranomaisten hankemenettelyissä
6. Johtosiirtoja koskeva koordinaatio tulisi käynnistää jo suunnitteluvaiheessa
7. Sijoituslupamenettelyiden kehittämällä voidaan sujuvoittaa toteuttamisprosessia

Tekniset edistämistoimenpiteet

8. Kustannustehokas ennakkorakentaminen edellyttää yhteistyötä operaattoreiden kanssa
9. Passiivisen infran ennakkorakentamisen tulee kohdentua oikeisiin kohteisiin
10. Mahdollistamistoimenpiteet korkeataajuuksisen 5G-verkon rakentumiseksi selkeytyvät vasta tulevaisuudessa

1 Väyläviranomaisten rooli tietoliikenneasioiden edistämiseksi kaipa selkeyttämistä

Väyläviranomaisten nykyinen rooli keskittyy tie-, rata- ja meriliikenteen väyläverkon suunnitteluun, kehittämiseen ja kunnossapitoon sekä liikenteen ja maankäytön yhteensovittamiseen. Tietoliikenteen edistämisasiat menevät osin Väyläviranomaisen roolin ulkopuolelle, vaikka tulevaisuudessa tietoliikenneasiat tulevat olemaan mitä todennäköisimmin osa sujuvaa liikennejärjestelmää ja toimivia liikenneväyliä.

Hallitusohjelman mukaisesti tietoliikenneyhteydet tulevat toteutumaan pääosin markkinaehtoisesti teleoperaattoreiden toimesta. Pääväylien ja muuta liikenneverkkoa koskevan tietoliikenteen kehittämisen selkeyttämiseksi, väyläviranomaisten oikeiden toimenpiteiden tunnistamiseksi sekä passiivisen infran ennakkorakentamisen kustannuksien arvioimiseksi, väyläviranomaisten roolia tietoliikenneasioissa on tarpeen selkeyttää.

Väyläviranomaisten rooliksi tietoliikenneasioissa tunnistettiin tässä työssä seuraavia vaihtoehtoja:

- Roolivaihtoehto 0: Väyläviranomaisen Roolivaihtoehdossa väyläviranomaisen tavoitteena on varmistaa infran toimivuus ja elinkaaren hallinta. Ennakkorakentaminen ja kehittäminen suuntautuu pääosin toimiin, joilla pyritään ensisijaisesti suojaamaan väyläomaisuuden arvoa. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi investoimista passiiviseen infraan yksittäisissä kohdissa, kun sillä voidaan turvata väylärakenteita myöhemmältä rakentamiselta tai turvaamaan liikenteen sujuvuutta.
- Roolivaihtoehto 1: Mahdollistaja Roolivaihtoehdossa väyläviranomaisen tavoitteena on perustehtäviensä ohella tukea tietoliikenneyhteyshankkeita väyläympäristössä. Ennakkorakentaminen ja kehittäminen suuntautuu edistämään kokonaistaloudellisesti kustannustehokasta tietoliikenneinfran rakentumista, vaikka se ei pelkän väyläviranomaisen roolista olisi aina perusteltua. Tämä voi edellyttää erillistä korvamerkittyä rahoitusta väyläviranomaisen roolin ulkopuolisille passiivisen infran investoinneille. Roolissaan väyläviranomaisen toimii roolissaan puolueettomasti ja tasapuolisesti eri operaattoreita kohtaan. Näkökulma investointeihin ja ennakkorakentamisen tasoon on tapauskohtainen, joten käytössä olevat periaatteet voivat johtaa toimijoiden yksittäistoteutuksiin, päällekkäisen infran luomiseen sekä ensimmäisen investoijan monopoliasemaan.
- Roolivaihtoehto 2: Edistäjä ja toimintaympäristön luoja Roolivaihtoehdossa väyläviranomaisen tavoitteena on perustehtäviensä ohella edistää toimivan tietoliikenteen toimintaympäristön syntymistä pääväylien yhteyteen. Ennakkorakentaminen ja kehittäminen suuntautuvat varmistamaan tietoliikenneyhteyksien riittävyys suhteessa liikenteen tarpeisiin sekä kehittämään toimintaympäristöä siten, tietoliikenneyhteyksien kehittäminen ja ylläpitäminen on siellä kokonaistaloudellisesti tehokasta. Passiivisen infran investointeja toteutetaan edistämään yhteiskäyttöisyyttä ja estämään kaupallisten monopoliasemien syntymistä ja turhia päällekkäisiä investointeja. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi investoimista selkeästi liikenteen tarpeisiin tuleviin tukiasemapaikkoihin tai omistuksessaan olevan tievalaistuksen uusimista puhtaasti tietoliikenteen tarpeista. Roolivaihtoehto voi edellyttää erillistä korvamerkittyä rahoitusta väyläviranomaisen roolin ulkopuolisille passiivisen infran investoinneille.

2 Tietoliikenneyhteydet tulee kytkeä tiiviimmin osaksi väylien kehittämistä ja palvelutasotavoitteita

Pääväylien tietoliikenneyhteydet ja niiden kehittyminen tulisi jatkossa kytkeä tiiviimmin osaksi väylien palvelutasotavoitteita sekä väylien kehittämistoimenpiteitä, sillä tie- ja rautatieliikenteen kehittyminen tulee jatkossa edellyttämään yhä enemmän toimivia, sujuvia ja kaikkien toimijoiden hyödynnettävissä olevia tietoliikenneyhteyksiä.

Liikenteen tarpeet tietoliikenneyhteyksille riippuvat väylän liikennemäärästä sekä väylän käyttäjien hyödyntämistä palveluista. Tämä tarkoittaa, että eri väylillä ja yhden väylän eri osissa liikenteen tarpeet tietoliikenneyhteyksille voivat olla hyvin erilaisia. Väyläkohtaisissa palvelutasotavoitteissa tulisi nykyistä paremmin huomioida liikenne- ja käyttäjämäärien kehitys sekä liikennettä palvelevien tietoliikenneyhteyksien todelliset tarpeet. Pääväylien palvelutasoajattelua olisi hyvä laajentaa liikenteen ohjauksen lisäksi kattamaan myös liikenteen käyttäjien ja liikenteen automaation tarpeet tietoliikenneyhteyksille. Palvelutasotavoitteiden asettamisen ohella myös tietoliikenneyhteyksien todellista tilaa, riittävyyttä sekä liikenteen palveluiden kehityspolkuja tulisi seurata eri väylän käyttäjien näkökulmasta.

Tietoliikenneyhteyksien palvelutaso pääväylillä ja keskeisissä liikenteen solmupisteissä tulisi määrittää yhteistyössä väyläviranomaisten, kaupunkien ja operaattoreiden kesken. Yhteisesti määritelty tietoliikenneyhteyksien tavoitetilä toisi pitkäjänteisyyttä ja kokonaiskuvaa eri osapuolien edistämisen- ja kehittämistoimenpiteille sekä toimijoiden väliselle yhteistyölle. Yhtenäisempi käsitys kehittämissuunnasta auttaisi myös kohdentamaan passiivisen infran ennakkorakentamisen erityisesti kohtiin, jotka liikenteen tarvitsemien tietoliikenneyhteyksien näkökulmasta ovat merkityksellisimpiä. Etenkin kaupunkirakenteen sisäisillä sisääntuloväylillä ja kehäteillä väylillä yhtenäisten ja riittävien tietoliikenneyhteyksien kehittäminen olisi tärkeää varmistaa yhteistyössä kaupunkien ja operaattoreiden kanssa.

3 Digitaalisen infran yhteiskäyttöisyyttä tulisi edistää väyläalueilla

Väylävirasto ja liikenteenohjausyhtiöt hyötyisivät tiiviimmästä yhteistyöstä koskien valtion omistamaa digitaalista infraa (passiivi-infra, tietoliikennekaapelit ja sähköverkko) sekä ulkopuolelta hankittavia tietoliikenneyhteyksiä. Tois-taiseksi Väylävirasto ja liikenteenohjausyhtiöt ovat vastanneet oman tarpeen mukaisista tietoliikenneyhteyksistään eikä kattavaa yhteistyötä tietoliikenneyhteyksien osalta ole aina tehty. Nykyisin toimijat toteuttavat tarvitsemansa tietoliikenneyhteydet omaan käyttöönsä. Yksittäisille väyläosuuksille on toteutettu rinnakkaisia yhteyksiä, eikä muiden toimijoiden olemassa olevia yhteyksiä ja va- jaakapasiteettia ole aina voitu hyödyntää. Toisaalta osalla väyläosuuksista ei ole lainkaan tietoliikenneyhteyksiä, ellei yhden toimijan omat tarpeet ole riittäneet investointiin. Käytettyjen investointiperiaatteiden on todettu myös olevan vaihtelevia. Uusia yhteyksiä on välillä toteutettu omaan omistukseen ja välillä yhteydet on ostettu palveluna kaupallisilta palveluntuottajilta.

Tiiviimmällä yhteistyöllä olisi mahdollista

- välttää uusien päällekkäisten yhteyksien rakentamista
- tunnistaa yhteisiä investointimahdollisuuksia
- löytää mahdollisuuksia toimijoiden ja eri liikennemuotojen väliselle yhteistyölle olemassa olevien kuituyhteyksien hyödyntämiseksi esim. varayhteyksissä
- löytää mahdollisia kustannussäästöjä yhteisestä ylläpidosta ja operoinnista.

Tie- ja rautatieliikenteen tietoyhteystarpeiden kehittämiseksi Väyläviraston ja liikenteenohjausyhtiöiden yhteistyönä olisi hyödyllistä luoda yhteinen kuva tietoliikenneyhteyksien kehittämisestä ja yhteistyöstä. Yhteistyössä olisi hyvä tarkastella tietoliikenteen tulevaisuutta eri alueilla ja väyläosuuksilla mm. tietotarpeiden, turvalaitteiden, tietoturvan, kunnossapidon ja liikenteen käyttäjien näkökulmasta. Tarkastelussa olisi syytä huomioida uusien yhteyksien toteuttamistarve, toteuttamis- ja hankintaperiaatteet sekä mahdollisuudet nykyisten yhteyksien keskinäiselle hyödyntämiselle ja ylläpidolle. Yhtenä yhteistyömuotona olisi hyödyllistä tarkastella olemassa olevien ja uusien yhteyksien omistamisen, hankinnan ja ylläpidon siirtoa keskittyneemmin yhdelle taholle.

Väyläalueen digitaalisen infran yhteiskäyttöisyyttä olisi hyvä mahdollisuuksien mukaan ulottaa myös operaattoreiden suuntaan. Kattavan 5G-verkon toteuttaminen ja 4G-verkon katvealueiden kattaminen pääväylille edellyttää todennäköisesti uusien tukiasemien rakentamista alueille, joilla ei ole asutusta. Etenkin taajamien ulkopuolella uusien tukiasemapaikkojen rakentamiskustannuksia voidaan pienentää, mikäli alueella olemassa olevaa, esim. liikenteen tarpeisiin rakennettua, kaapeli- tai sähköverkkoa voidaan hyödyntää.

Operaattoreiden kanssa yhteistyössä olisi hyvä selkeyttää yhteistyömahdollisuuksia ja -periaatteita, joilla kapasiteetiltaan vajaakäytöllä olevia tietoliikenne- ja sähköverkkoa olisi mahdollista avata yksittäisissä kohdissa uusien tukiasemien toteuttamisen edistämiseksi, erityisesti sähköverkon osalta. Sähköverkon hyödyntämiseen syntyy rajoitteita lainsäädännöstä, joten teknisten ratkaisuiden lisäksi jatkotyöskentelyssä on tarpeen tuoda esille erilaisia malleja, joilla Väylävirasto voi tarjota sähköverkkoa kolmansille osapuolille liittyen tietoliikenneyhteyksien kehittämiseen ja muihin väyläverkon kehitystarpeisiin.

Lisäksi yhteistoiminnan osalta on syytä tarkastella millaisilla yhteisillä investointimalleilla ja toimintaperiaatteilla olisi mahdollista toteuttaa uusia tietoliikenne- ja sähköyhteyksiä väyläalueille hyödyntämään väyläviranomaisien, liikenteenohjausyhtiöiden, operaattoreiden sekä muiden toimijoiden tarpeita.

4 Viranomaisten ja operaattoreiden yhteistyötä on tarpeen syventää ja systematisoida

Yhteistyö ELY-keskusten ja teleoperaattoreiden kesken on toiminut hyvin mutta yhteistyötä on tärkeää jatkaa ja kehittää tulevaisuudessa. ELY-keskusten yhteistyö on nykyisin jäsentynyt kahden verkoston ympärille.

- Asiakasfoorumi Pirkanmaan ELY-keskus on järjestänyt Asiakasfoorumin sähkö- ja teleyritysten sekä heidän edusjärjestöjensä edustajille. Lisäksi foorumiin on osallistunut Väylän ja Pirkanmaan ELY:n edustajia. Asiakasfoorumeissa käydään läpi sähkö- ja teleyritysten, Väylän ja PIR-ELY:n ajankohtaisia asioita sekä tiedossa olevia lainsäädännön, määräysten ja ohjeiden muutoksia. Tavoitteena on molemminpuolinen avoin keskustelu, ymmärrys toiminnasta ja tulevien asioiden ennakointi yhteistyössä.
- Verkostonrakentajien alueelliset yhteistyötapaamiset Alueellisesti järjestettävien verkostonrakentajien yhteistyötapaamisten tavoitteena on yhteisrakentamiseen johtavan tiedon välittäminen. Alueelliset käytännöt eri ELY-keskuksissa ovat ilmeisesti vaihtelevia. Pirkanmaan ELY-keskuksen järjestämät yhteistyötapaamiset järjestetään kaksi kertaa vuodessa. Osallistujina ovat ELY:t, tele- ja sähköoperaattorit, ajoittain mukana Vies-tintäviraston ja johtotiedon edustajat. Tapaamisten pääpaino on tulevien investointihankkeiden esittelyssä ja mahdollisten yhteisrakentamishankkeiden löytämisessä sekä yhteistyömenettelyiden kehittämisessä.

Jatkossa ELY-keskusten välillä olisi syytä vaihtaa tietoa eri foorumeilla tehtävästä yhteistyöstä. Kokonaisuuden kannalta on tärkeää varmistaa, että jokaisessa ELY-keskuksessa tehdään riittävää yhteistyötä operaattoreiden kanssa. Tiedonvaihdon lisäksi ELY-keskusten välillä olisi mahdollisuus hyvien käytäntöjen keskinäiseen levittämiseen.

Väyläviraston sekä tele- ja sähköoperaattoreiden välistä yhteistyötä olisi hyvä kehittää ja systematisoida. Toistaiseksi Väylävirasto ja operaattorit ovat tehneet yhteistyötä liittyen suoraan hankkeisiin, jolloin vuorovaikutuksessa on käyty läpi hankkeisiin liittyviä yksityiskohtia. Työn aikana tunnistettiin tarve Väyläviraston ja operaattoreiden väliselle systemaattiselle yhteistyölle, jossa olisi mahdollisuus käsitellä ja kehittää yhteistyötä yleisellä tasolla. Nähtiin, että yhteistyö voisi tapahtua esimerkiksi kaksi kertaa vuodessa järjestettävässä keskinäisessä Yhteistyöfoorumissa. Yhteistyöfoorumissa olisi mahdollista käsitellä mm. seuraavia asioita

- Osapuolten tulevat hankkeet ja muut investointikohteet
- Yhteisrakentamisen ja -investointien mahdollisuudet
- Yhteisten toimintatapojen kehittäminen ja kehittämistoimenpiteiden koordinointi
- Liikenteen toimintaympäristön ennakointi ja tietoliikenneyhteystarpeiden seuraaminen
- Yhteistyömahdollisuudet liikenteen edellyttämien tietoliikenneyhteyksien kehittämiseksi

Työn aikaisissa haastatteluissa nousi esille, että Väyläviraston olisi tarpeen linjata ELY-keskusten suuntaan yksityiskohtaisemmin, miten ja millä tavalla yhteisrakentamislakia tulisi käytännössä soveltaa operaattoreiden kanssa.

Operaattoreiden lisäksi Väyläviraston olisi hyödyllistä tiivistää strategisella tasolla tehtävää yhteistyötä Erillisverkkojen kanssa Virve 2.0-kehityksen seuraamiseksi sekä tietoliikenneyhteyksien rakentamiseen liittyvien yhteistyömahdollisuuksien tunnistamiseksi.

5 Tietoliikenneyhteydet tulisi huomioida nykyistä aikaisemmin väyläviranomaisten hankemenettelyissä

Tietoliikenneyhteyksien kehittämistä edesauttaisi, mikäli operaattorit kytkettäisiin mukaan väylähankkeiden suunnitteluprosessiin nykyistä aikaisemmin. Nykyisin yhteistyö väylähankkeissa tapahtuu välillä vasta hankkeiden rakentamisvaiheessa, mikä on usein liian myöhään ennakoitiin. Operaattorit hyötyisivät kytkemisestä mukaan hankkeisiin jo esi-, yleis-, tie- ja ratasuunnitteluvaiheissa. Aikaisen vaiheen yhteistyö mahdollistaa paremman ennakoivamman tietoliikenneyhteyksien kehittämisen.

Molemminpuolinen tarve on pitää yhteistyö kevyenä ja välttää liian raskasta ja eri osapuolia kuormittavaa prosessia. Operaattoreiden näkökulmasta keskeistä on tunnistaa käynnistyvät hankkeet riittävän ajoissa, päästä tutustumaan tietoliikenneyhteyksiin vaikuttaviin väylän suunnitteluratkaisuihin, vaikuttaa passiivisen infran ennakkorakentamiseen sekä ymmärtää hankkeen toteutusaikataulua. Operaattoreiden kontaktointi ja tietoliikenneasioiden huomioiminen suunnittelussa voidaan ulottaa esimerkiksi konsulttisopimusten ohjeistuksiin.



Työpajoissa nähtiin, että yhteistoimintaa voidaan parantaa aikaisemman tiedonvaihdon avulla. Yhtenä potentiaalisena tiedonvaihtokanavana tunnistettiin Verkkotietopisteen hyödyntäminen nykyistä kattavammin. Nykyisin Väylävirasto ja ELY-keskukset toimittavat hanketietoa Verkkotietopisteeseen, josta tiedot siirtyvät operaattoreiden suunnittelujärjestelmiin hyödynnettäväksi suunnittelussa. Usein hankkeet ovat kuitenkin jo rakennesuunnitteluvaiheessa ennen kuin tieto niistä toimitetaan. Operaattorit hyötyvät hanketiedosta jo aikaisemmin esim. yleissuunnitteluvaiheesta, jotta yhteensovittaminen ja varautuminen on mahdollista. Tarkat hankekuvaukset ja arvioitu toteuttamisaikataulu helpottavat operaattoreiden ennakoitua ja toiminnan yhteensovittamista. Myös tieto rahoituspäätöksistä ja varmistuneista aikatauluista olisi tärkeää välittää mahdollisimman nopeasti operaattoreille.

Konkreettisena kehittämistoimenpiteenä tunnistettiin yhteisen prosessin kehittäminen ja selkeyttäminen eri tyyppisissä väylähankkeissa. Kehittämisen lopputuloksena keskeinen tiedonvaihto ja yhteistyötarpeet kuvattaisiin jokaisessa suunnitteluvaiheessa.

6 Kaapelisiirtoja koskeva koordinaatio tulisi käynnistää suunnitteluvaiheessa

Hankkeiden suunnitteluvaiheessa luodaan keskeiset edellytykset onnistuneelle ja kustannustehokkaille kaapelisiirroille. Tie- ja rataosuuksien perusparannusten ja kokonaan uusien hankkeiden yhteydessä tulisi kaapelisiirtoihin liittyvä ennakointi käynnistää systemaattisesti jo suunnitteluvaiheessa yhteistyössä operaattoreiden kanssa. Nykyisellään selkeää käytäntöä ei ole ja yhteydenotot operaattoreihin tapahtuvat välillä jo hyvin lähellä rakentamista, jolloin varautumisen kaapelisiirtoihin on haastavaa.

Yhteydenotto kaapeleiden omistajiin riittävän aikaisin on tärkeää, jotta operaattoreiden on mahdollista mm.

- suunnitella kaapeleiden vaihtoehtoiset reitit Jos olemassa olevaan väylälinjaukseen tehdään muutoksia tai uusia rakenteita toteutetaan, voidaan kaapeleita joutua siirtämään uuteen paikkaan. Jotta tietoliikenneinfra on jatkossa ylläpidettävissä ja pääsy siihen toteuttavissa helposti, operaattoreiden olisi hyvä päästä vaikuttamaan kaapelireitteihin hyvissä ajoin.
- ottaa kantaa passiivisen infran ennakorakentamiseen Kaapelisiirtojen yhteydessä yhteistyöllä operaattoreiden kanssa voidaan tunnistaa oikeat ja sopivat laajuiset ennakoinnin toimenpiteet. Vilkasliikenteisillä väylillä, joilla voi jatkossa olla tarvetta vähintään yksittäisille pientukiasemille, voidaan kaapelisiirtojen yhteydessä suunnitella operaattoreiden näkökulmasta riittävät passiivisen infran ennakorakenteet.
- kartoittaa tarve uusille kaapeli-investoinneille Osa siirrettäväksi aiotuista kaapeleista on voinut tulla elinkaarensa päähän, jolloin niitä on tarkoituksenmukaista uusia. Toisaalta välillä yhteysväleillä tarvitaan kaapeleiden uusimista kapasiteetin lisäämiseksi. Varhainen yhteistyö antaa operaattoreille paremmat valmiudet varautua myös budjetissaan uusiin kaapeli-investointeihin.
- suunnitella kaapelisiirroista aiheutuvat muutostyöt tietoliikennekatkoineen hallitusti Tietoliikennekaapeleiden siirrosta aiheutuu lähes väistämättä katko tietoliikenneyhteyksille. Operaattoreiden tulee tietää ja pysyä suunnittelemaan katkot hyvissä ajoin, jotta ne voidaan toteuttaa hallitusti. Mahdollisuuksien mukaan tietoliikenne tulee ohjata varareitille tai ilmoittaa katkoista asiakkaille.

Kaapelisiirtojen urakoinnin yhteensovittamisella voidaan pienentää operaattoreille syntyvää haittaa. Yhteistyöllä urakoinnin kilpailutusvaiheessa, voidaan vanhojen kaapeleiden siirtotyö, uusien kaapeleiden sijoittaminen ja mahdollisten passiivisen infran ennakorakentaminen sisällyttää kokonaisurakkaan ja sopia kustannusten tasapuolisesta jakautumisesta eri toimijoiden kesken. Yhteisellä kilpailutuksella ja urakoinnilla voi olla merkittävä vaikutus operaattoreiden kustannuksiin. Jos operaattorit joutuvat kilpailuttamaan kaapelisiirrot erillisurakkana, urakoitsijat voivat usein sanella siirtotyön hinnan ja aiheuttaa siten operaattoreille suhteellisesti kovia kustannuksia. Kun kaapelisiirrot ja muut toimenpiteet sisällytetään kokonaisurakkaan, operaattoreiden kustannukset pysy-

vät hallittuina, sillä ne eivät usein vaikuta merkittävästi kokonaisurakan työ-
määrään ja kustannuksiin. Yhteistyöllä tietoliikenneyhteyksien rakentamiseen ja
ylläpitoon on mahdollista tuoda kustannussäästöjä. Kaapeleiden paremmalla
huomioimisella urakoissa voitaisiin vähentää riskiä myös kaapelikatkoille.

7 Sijoituslupamenettelyiden kehittämisellä voidaan sujuvoittaa toteuttamisprosessia

Rataympäristön sijoitusmenettelyiden selkeyttämisellä on mahdollisuus edes-
auttaa operaattoreiden toimintaa. Toimiminen rataympäristössä tulee aina ole-
maan haasteellista johtuen mm. radan sähköistyksestä ja turvallisuusnäkökul-
man huomioimisesta. Parempien tietoliikenneyhteyksien kehittäminen kuitenkin
edellyttää, että operaattorit pystyvät toimimaan sujuvasti rautatiealueella so-
vittujen reunaehtojen puitteissa. Operaattorit tunnistivat rataympäristöstä
kolme keskeistä sijoituslupamenettelyihin liittyvää kehityskohdetta, joilla voi-
daan parantaa toimimista rataympäristössä.

Haastatteluiden perusteella tunnistettiin, että 1.1.2019 voimaan tulleen Ratalain
muutoksen myötä Väyläviraston sijoitussopimuksen ehdot ovat merkittävästi
hankaloittaneet toimimista rataympäristössä. Sujuvan toiminnan mahdollista-
miseksi erityisesti vastuisiin liittyviä sopimusehtoja tulisi pystyä kohtuullista-
maan. Sopimusehtojen haasteelliset kohdat on otettu jo yhteiseen käsittelyyn
Väyläviraston ja operaattoreiden välillä.

Rataympäristön kaapeleiden sijoitusmaksu rata-alueella todettiin moninker-
taiseksi verrattuna vastaavaan menettelyyn tieympäristössä. Operaattorit nä-
kivät tämän eriarvoistavan rautatieympäristöä suhteessa maanteihin nähden ja
osin myös heikentävän houkuttelevuutta sijoittaa tietoliikenneyhteyksiä ratojen
varteen.

Kolmanneksi operaattorit näkivät, että yhtenäisemmät ja selkeämmät sijoitus-
lupakäytännöt ja -ehdot edistäisivät toimimista rataympäristössä. Operaattorit
pitivät tiepuolella käytössä olevaa ohjeistusta hyvänä ja näkivät, että rataympä-
ristön käytäntöjä tulisi yhtenäistää ja kehittää vastamaan tiepuolella olevia vas-
taavia käytäntöjä raideliikenteen erityispiirteiden puitteissa. Erityisesti tiepuo-
lella käytössä olevia selkeitä kustannustenjakoperiaatteita kaapeleiden sijoitta-
miseen pidettiin hyvänä. Tärkeänä ominaisuutena pidettiin periaatteiden en-
nalta-arvattavuuden ja läpinäkyvyyden lisäämistä.

Tieympäristöä koskevien sijoituslupamenettelyiden koettiin toimivan kokonai-
suudessaan hyvin. Operaattoreiden näkökulmasta kehittämistarpeet liittyivät
sijoituslupamenettelyn korvaamiseen ilmoitusmenettelyllä, jos vanhaan suoja-
putkeen tuodaan uusia kaapeleita.

Nykyisen menettelyn mukaisesti jokaista uutta sijoitettavaa kaapelia varten tu-
lee hakea sijoituslupa, vaikka se sijaitisi suojaputkessa, johon on jo aikaisemmin
sijoituslupamenettelyn kautta sijoitettu kaapeleita. Operaattorit näkivät, että
nykyinen menettely on turhan raskas ja heidän näkökulmastaan toimintaa voisi
sujuvoittaa ilmoituslupamenettelyllä.

Työn aikana tehdyissä haastatteluissa tunnistettiin tarve ennakoida IoT-sensoreiden, tukiasemien tai muiden tietoliikenneyhteyksiin liittyvien laitteiden kiinnittämistä väylärakenteisiin ja -kalusteisiin. Vaikka väyläalueille sijoitettavista laitteista, niiden yksityiskohdista sekä sijoittamisen laajuudesta ei ole vielä tarkkaa tietoa, nähtiin, että niitä koskevia sijoituslupaperiaatteita olisi hyvä hahmotella alustavalla tasolla yhdessä Väyläviraston, ELY-keskuksen ja operaattoreiden kanssa. Ymmärryksen kasvaessa sijoituslupaperiaatteita voidaan tarkentaa. Kehitystarpeena olisi pääpiirteittäinen selkeä menettely siihen, mitä laitteita väylälle saa sijoittaa, mihin laitteita saa sijoittaa, miten laitteita saa eri rakenteisiin kiinnittää ja millä periaatteilla. Nähtiin, että sijoituslupaperiaatteissa tulisi ottaa alustavalla kantaa mm. riittävien näkymien varmistamiseen sekä vaikutuksista ylläpitoon ja muuhun hoitoon, erityisesti lumenauraukseen.

8 Kustannustehokas passiivisen infran ennakkorakentaminen edellyttää yhteistyötä operaattoreiden kanssa

Passiivisen infran ennakkorakentaminen tulisi suunnitella operaattoreiden kanssa yhteistyössä, jotta toimenpiteet pystytään kohdistamaan vaikuttavimpiin kohteisiin. Ennakkorakentamisen tapaan ja laajuuteen vaikuttaa mm. alueella olemassa oleva tietoliikenneinfra, sijainti tietoliikenteen topologiassa, väylän sijainti suhteessa asutukseen, väyläalueen maaperä ja rakennettavuus sekä tulevat maankäytön ja liikenteen kehittämistarpeet lähialueilla. Koska tilanne jokaisella väyläosuudella on erilainen ja saattaa muuttua ajan myötä, kustannustehokkain ennakkorakentaminen on tehokkainta tunnistaa hankekohtaisesti yhteistyössä operaattoreiden kanssa jo suunnitteluvaiheessa.

Kustannustehokas ennakkorakentaminen edellyttää, että passiivisen infran on

- kohdistettu oikeille alueille Infrarakenteet tulee kohdentaa alueille ja väylän osille, joissa operaattoreilla ja muilla kaapeleiden omistajilla on tarvetta hyödyntää niitä myöhemmin, sillä ennakkorakentaminen vain periaatteen vuoksi ei ole järkevää. Ennakkorakentamisen koordinaatiota helpottaa, jos operaattoreiden kanssa voidaan tunnistaa alueita, joilla on lähitulevaisuudessa todennäköisesti rakentamistarpeita. Vastaavasti hyödyllistä on tunnistaa maantieteellisiä alueita, joilla ennakkorakentamista ei todennäköisesti kannata tehdä.
- toteutettu yksityiskohtaisella tasolla oikein Jotta operaattoreiden on kannattavaa hyödyntää ennakolta rakennettua passiivista infraa, tulee sen olla suunniteltu ja toteutettu myös yksityiskohtaisella tasolla oikein. Tämä tarkoittaa, että passiivinen infra tulee sijoittaa oikeisiin kohtiin ja pääsyn siihen tulee olla helppoa. Ennakkorakentamisen hyöty on nopeasti käytetty, mikäli passiivinen infra ei sijaitse riittävän lähellä suunniteltuja kaapelilinioja tai niiden hyödyntämiseksi joudutaan kaapelireiteissä tekemään ylimääräisiä mutkia. Passiivisen infran tulee olla suunniteltuna siten, että niitä on mahdollista hyödyntää (esim. suojausputkituksessa ei saa olla liian jyrkkiä mutkia).
- dokumentoitu ja tieto passiivisesta infrasta on hyödynnettävissä Hyöty ennakkorakentamisesta saadaan vasta, kun se otetaan käyttöön. Käyttöönotto edellyttää, että passiivinen infra on dokumentoitu hyvin ja tiedot on avattu operaattoreille. Operaattoreiden tulee saada tieto hyödynnettävästä passiivisesta infrasta, jotta ne voivat huomioida sen omassa suunnittelussaan. Yksi mahdollinen keino olisi suojausputkitustiedon systemaattinen kerääminen ja tiedon avaaminen operaattoreille hyödynnettäväksi suoraan suunnittelujärjestelmissä.

- ylläpidetty ja hoidettu asianmukaisesti Suojaputkien hyödyntäminen edellyttää teknisellä tasolla, että ne on asennettu oikein ja merkattu hyvin maastoon sekä niiden ylläpidosta on huolehdittu elinkaaren aikana. Mikäli jostain syystä suojaputket ovat päässeet rikkoutumaan ja niiden sisälle on mennyt maa-aineista, voi niiden hyödyntäminen olla käytännössä mahdotonta tai aiheuttaa vähintään lisäkustannuksia. Teknisen käytön hyödyntämiseksi passiivisen infran elinkaarenaikaiset hallintamallit, yhteistyöprosessit ja vastuut (suunnittelu, rakentaminen, käyttö, ylläpito ja viankorjaus) olisi syytä selkeyttää.
- hinnoiteltu taloudellisesti kannattavasti Jotta passiivisen infran käyttö on kannattavaa taloudellisesti, tulee niiden myynti- ja vuokrausperiaatteet olla kannustavia. Väylävirasto on antanut toistaiseksi suojaputkituksen operaattoreille hyödynnettäväksi ilmaiseksi. Käytäntöä on pidetty operaattoreiden näkökulmasta hyvänä ja passiivisen infran käyttöön kannustavana.

9 Passiivisen infran ennakkorakentamisen tulee kohdentua oikeisiin kohteisiin

Maanteillä kustannustehokkain passiivinen infra kohdistuu yksittäisiin kohtiin, joilla pystytään helpottamaan tietoliikenneyhteyksien rakentamista sekä estämään tierakenteiden kunnon rapautumista. Kustannustehokas passiiviseen infran ennakkorakentaminen kohdistuu erityiskohteisiin, kuten tunneleihin, siltoihin, ramppeihin, risteys- ja liittymäalueisiin sekä muihin haastaviin tie- ja taitorakenteisiin, joissa tietoliikenteen toteuttaminen jälkikäteen on kallista ja edellyttää väyläinfran rakenteisiin koskemista. Risteysalueella tämä tarkoittaa esimerkiksi riittävien alituskohtien varmistamista esimerkiksi putkituksin ja -kaapelikaivoin. Passiivisen infran sijainti ja laajuus tulee suunnitella operaattoreiden kanssa yhteistyössä. Koska erityiskohteiden maantieteellinen koko on usein hyvin pieni, jää myös passiivisen infran absoluuttinen metrimäärä kohtuullisen pieneksi. Erityiskohteiden ennakkorakentamisessa kannattaa passiivisen infran laajuus (esim. suojaputkituksen määrä) suunnitella lähtökohtaisesti riittäväksi pitkän aikavälin tarpeisiin, sillä ennakkorakentamisella on harvoin merkittävää vaikutusta hankkeen kokonaiskustannuksiin.

Maanteiden varsilla operaattorit eivät tunnistaneet lähtökohtaisesti tarvetta pitkittäissuuntaisiin passiiviseen infraan, esim. suojaputkituksilla. Tämä johtui kahdesta eri syystä. Ensimmäinen operaattorit näkivät, että heidän tietoliikennekaapelitilanne on lähtökohtaisesti hyvä pääväylien varsilla ja laajamittaisia uusia investointitarpeita ei ole nähtävissä. Tulevat investointitarpeet kohdistuvat todennäköisesti yksittäisille yhteysväleille, jolloin niiden suunnittelusta ja ennakkorakentamisesta kannattaa sopia erikseen. Toiseksi väylänsuuntaisten runko-yhteyksien toteuttamiseksi pitkittäinen passiivinen infra ei välttämättä ole tarpeellista. Mikäli väylän varrella on tilaa, todennäköisesti uuden yhteyden toteuttaminen kaivamalla tai auraamalla on käytännössä riittävän hyvä vaihtoehto. Pitkittäinen passiivinen infra on hyödyllistä mahdollisesti yksittäisissä kallioleikkauskohdissa tai kallion ollessa hyvin pinnassa, jolloin kaivaminen on kallista tai jouduttaisiin käyttämään kiertoreittiä. Näiden kohtien ennakkorakentaminen on suunniteltava tapauskohtaisesti.

Rataympäristössä Väylävirasto on toteuttanut radan viereen kaapelikanavia, joihin kaapelit sijoitetaan. Tätä on pidetty osapuolten näkökulmasta hyvänä teknisenä ratkaisuna, jota on syytä jatkaa uusissa hankkeissa ja perusparannusten

yhteydessä. Nykyisten kaapelikanavien haasteena on, että ne ovat täynnä, jolloin vanhojen kaapeleiden käyttäminen tai uusien kaapeleiden lisääminen on haastavaa. Tulevissa hankkeissa tulisi aina tarkistaa kaapelikanavien mitoitus eri toimijoiden kanssa yhteistyössä, jotta niiden kapasiteetti riittää myös tuleviin tarpeisiin.

Radat muodostavat merkittävän estevaikutuksen tietoliikenneyhteyksien toteuttamiselle. Radansuuntaisten kaapelikanavien lisäksi merkittävien perusrakennusten tai uusien ratojen rakentamisen yhteydessä tulisi riittävät ratojen alitukset ja ylitykset pystyä suunnittelemaan operaattoreiden kanssa. Jälkikäteen toteutettuna alitukset ja ylitykset ovat usein hyvin hankalia ja kalliita, joten ennakkorakentamisella voidaan edistää myös yleistä laajakaistan saatavuutta.

10 Mahdollistamistoimenpiteet korkeataajuuksisen 5G-verkon rakentumiseksi selkeytyvät vasta tulevaisuudessa

Korkeat taajuusalueet tulevat käyttöön vuoden 2020 aikana ja operaattoreiden arvioiden mukaan ne otetaan ensimmäisenä käyttöön kaupungeissa. Väylien varsilla korkean taajuuden tukiasemien toteutuminen laajamittaisesti näyttää eri osapuolten näkemyksen mukaan lähitulevaisuudessa hyvin epävarmalta. Tällä hetkellä suositeltavin toimenpide on tilanteen seuranta. Myöhemmässä vaiheessakin on todennäköisempää, että korkeiden taajuusalueiden 5G-verkko toteutuu yksittäisiin pisteisiin, joilla täydennetään matalammilla taajuuksilla rakennettua 5G-verkkoa kuin, että korkeataajuuksinen verkko toteutuisi yhtenäisenä pääväylien varrelle. Oleellista on seurata miten laajasti ja millä aikataululla 5G-verkkoja tullaan kaupunkiympäristössä toteuttamaan liikenteen tarpeisiin. Operaattoreilta on hyödyllistä kerätä tietoa pilottien ja toteutusten kokemuksista ja ratkaisuksista. Todellisten käyttökokemusten pohjalta suositeltavia toimenpiteitä pystytään arvioimaan huomattavasti paremmin. Todennäköisesti oikeista teknisistä toimenpiteistä on riittävä tieto jo 2020-luvun alkupuolella. Nykyisen ymmärryksen mukaan tämä on riittävän aikaisin, jotta sillä voidaan varautua ratapuolen kehitykseen sekä maanteillä tapahtuvaan tieliikenteen automatisaatioon.

Jos väyläalueilla halutaan kuitenkin jostain syystä varautua korkeataajuuksisten piensolujen rakentamiseen, yleinen tie- ja raideliikennettä koskeva toimenpide olisi kartoittaa alustavalla tasolla keskeiset tarpeet uusien tukiasemien rakentamiselle pääväylien läheisyydessä. Kartoituksessa tulisi arvioida väyläkohtaiset tarpeet väyläalueelle sijoitettaviin tukiasemiin sekä väyläalueen lähiympäristöön sijoitettaviin uusiin tukiasemiin. Kartoituksen pohjalta tulisi muodostaa väyläkohtainen arvio uusien tukiasemien määrästä, sijainnista, toteutusaikataulusta sekä niiden edellyttämistä tarpeista tietoliikenneyhteyksille, sähköverkoille sekä muille varauksille. Uusien tukiasemien rakentamiseksi voidaan tunnistaa myös alustavalla tasolla erilaisia toteutus- ja investointimalleja. Tukiasematarpeiden arvioimiseksi tulisi arvioida nykyiset kuuluvuuspeitot, katvealueet, liikenteen tietoyhteystarpeiden kehittymisnäkymät. Väyläviraston roolin kannalta oleellista on seurata sellaisten tie- ja raideliikenteen käyttötapauksien kehittymistä, jotka muodostavat väyläkäyttäjille pullonkauloja tai edellyttävät hyvin suurta tiedonsiirtokapasiteettia. Tarkasteluista on syytä pitää yllä tilanteen muuttuessa. Väyläkohtaisia tukiasemien tarkasteluista voidaan hyödyntää väyläviranomaisen omassa suunnittelussa sekä kaupunkien kanssa tehtävässä yhteistyössä.

Toissijainen keino on varautuminen suunnittelussa ja rakentamisessa alueilla, joihin korkeataajuuksinen 5G-verkko voisi ensisijaisesti toteutua. Maanteiden näkökulmasta ensimmäiset kohteet liittyvät todennäköisesti yksittäisiin pisteisiin suurten kaupunkien sisäisillä kehäteillä ja sisääntuloväylillä, joilla on suuria liikennemääriä. Rautatieliikenteen näkökulmasta tämä koskettaa erityisesti asemanseutuja ja ratapihoja. Uusien tukiasemien rakentaminen tulee vaatimaan merkittäviä investointeja, sillä toteutus edellyttää todennäköisesti merkittävää uutta rakentamista ja muutoksia nykyiseen väyläinfrastruktuuriin. Varautuminen näillä alueilla tarkoittaisi, että hankkeiden ja perusparannusten yhteydessä tunnistettaisiin sopivia tukiasemapaikkoja, joiden jälkikäteen toteuttaminen huomioitaisiin teknisissä ratkaisuisissa. Vaikka ennakkorakentamisen perusperiaatteet voidaan tunnistaa, liittyy tällä hetkellä korkeataajuuksisen 5G-verkon toteuttamiseen niin monia epävarmuustekijöitä, että ennakkorakentamisen tulisi suunnitella operaattoreiden kanssa aina tapauskohtaisesti.

Lähtökohtaisesti tukiasemien toteuttaminen pääväylien varteen edellyttää seuraavia toimenpiteitä:

- Tarve valokuituyhteydelle Jokainen uusi tukiasema tarvitsee käytännössä valokaapeliyhteyden. Tukiasemia voidaan myös langattomasti linkittää toisiinsa, mutta tällöin kapasiteetti jaetaan tukiasemien välillä, jolloin hyöty suuri kapasiteettisesta tiedonsiirrosta helposti menetetään. Keskeisimmät tarpeet kuituyhteyksien toteuttamiselle kohdistuvat jokaisen tukiaseman kytkemiseen operaattoreiden runkoverkkoon.
- Tarve sähkölle Jokainen tukiasema tarvitsee jatkuvan sähkönsyötön. Tullevissa väylähankkeissa ja ratojen sähköistämisissä uusien tukiasemien sijoittamiseen voidaan varautua mitoittamalla sähköverkko mahdollistamaan uusien tukiasemien sijoittamisen, huomioimalla tukiasemien tarpeet jatkuvasta sähköstä sekä suunnittelemalla sähköverkon teknisesti mahdollistamaan uusien tukiasemien toteuttaminen mm. sähkökeskusten, jakokaappien ja liittymien riittävällä mitoituksella ja oikealla sijoittelulla. Maantievalaistuksen nykyistä sähköverkkoa ei voi suoraan hyödyntää sellaisenaan, sillä valaisimia ohjataan valaistuskeskuksesta, jolloin sähkö on katkaistu valaisimien ollessa pois päältä. Toiseksi tukiasemat vaativat huomattavasti maantievalaistusta suuremman tehon, mikä tulee ottaa huomioon verkon mitoituksessa.

Konkreettisia toimenpiteitä tukiasemien toteuttamiseen on hankalaa määrittää, sillä 26GHz-tukiasemien toteuttamiseen liittyy toistaiseksi seuraavia epävarmuuksia:

- Tukiasemien kantama 26 GHz verkon kantamasta todellisissa käyttötapaauksissa ei ole saatu riittävästi kokemuksia ja eri toimijoilla on erilaisia näkemyksiä tukiasemien kantamasta. Eri arvioiden mukaan tukiasemien kantamaksi esteettömässä maastossa on arvioitu 30-300 metriä. Vaihteluväli on hyvin suuri, millä merkittävä vaikutus merkittävä topologiaan sekä tarvittaviin investointien suuruuteen.
- Tukiasemien sijoittelutiheys Vaikka tietoliikenneyhteydet toteutettaisiin väyläalueella hyvin laajasti, tukiasemaverkon ei tarvitse olla välttämättä täysin kattava. Varsinkin, jos tukiasemien kantama on suuri, väylän käyttäjille voidaan tarjota keskimääräisesti hyviä tietoliikenneyhteyksiä, vaikka korkeataajuuksinen verkko ei olisikaan täysin kattava. Ennakkorakentamisen haasteena on kohdistaa toimenpiteet väylän oikeisiin osiin.

- Sijoittuminen väylällä Tällä hetkellä ei ole vielä muodostunut selkeää näkemystä, miten tukiasemat kannattaisi sijoittaa väyläalueelle kattavan korkeataajuuksisen verkon toteuttamiseksi. Periaatevaihtoehtoina on tukiasemien sijoittaminen maanteiden keskikaistalle tai maanteiden reunalle yksi- tai molemminpuolisesti. Kaikkiin vaihtoehtoihin liittyy hyviä ja huonoja puolia rakentamisen ja ylläpidon näkökulmasta. Ilman selkeää toteutusratkaisua varautuminen esimerkiksi passiivisella infralla on hyvin haastavaa.
- Laitteiden koko ja sijoituspaikka Valmistajat ovat julkaisseet ensimmäisiä versioita tukiasemalaitteista, mutta toistaiseksi on vielä epävarmaa, millaisia laitteet ovat kooltaan ja painoltaan niiden yleistyessä markkinoilla. Laitteiden koko vaikuttaa suoraan millaisiin rakenteisiin niitä voidaan kiinnittää sekä millaisia tuulikuormia ja estevaikutuksia niihin kohdistuu. Korkeataajuuksisen verkon tukiasemien sijoittamispaikaksi väylillä on esitetty valaisinpylväitä, sähköpylväitä tai erikseen 5G-verkkoa varten toteutettavia pylväitä tai mastoja. Tukiasemien sijoittaminen olemassa olevan maantievalaistuksen yhteyteenkin edellyttäisi todennäköisesti valaistuksen uusimista. Maantievalaistus on toteutettu käytännössä vain taajama-alueille, joten suurimmassa osassa väyläverkkoa tukiasemille tulee löytää joka tapauksessa vaihtoehtoinen sijoituspaikka.

Lähteet

3GPP. 2018. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services (Release 16) TR 22.886 V16.2.0

5GAA. C-V2X Use Cases Methodology, Examples and Service level requirements

ELY-keskus 2019. Helsingin seudun pääväylien liikenteen hallinta 2030 - Selvitys teknologian kehittymisen tuomista tarpeista ja mahdollisuuksista. ELY-keskuksen raportteja 7 / 2019.



ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-317-741-3
www.vayla.fi